



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

**TESTOVÁNÍ TEPLENÝCH ZDROJŮ
SPALUJÍCÍCH DŘEVO A DŘEVĚNOU ŠTĚPKU**

TESTING OF HEAT SOURCES COMBUSTING WOOD AND WOODCHIPS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Martin Staňo

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Pavel Houška Ph.D.

BRNO 2018

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav automatizace a informatiky
Student: **Bc. Martin Staňo**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Aplikovaná informatika a řízení
Vedoucí práce: **Ing. Pavel Houška, Ph.D.**
Akademický rok: 2017/18

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Testování tepelných zdrojů spalujících dřevo a dřevěnou štěpku

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Ochrana životního prostředí a z ní vycházející legislativa vede na nutnost testování parametrů zdrojů tepla, zda splňují platnou legislativu. Za tímto účelem je nutné realizovat testovací pracoviště s pokročilými měřicími systémy, které měří a zaznamenávají důležité parametry zdrojů a jejich vlivu na životní prostředí. Cílem této práce je navrhnout systém sběru dat a realizovat potřebný software sběru a záznamu dat.

Cíle diplomové práce:

Seznamte se s problematikou procesu spalování biologického paliva.

Analyzujte problematiku dodávky paliva a monitorování jeho parametrů.

Definujte veličiny procesu spalování, které je nutné monitorovat pro realizaci řízení procesu spalování dle aktuální legislativy.

Navrhněte monitorovací systém tepelného zdroje dle platné legislativy.

Navržený systém realizujte a ověřte.

Seznam doporučené literatury:

TZB-info: Vytápění [online]. Dostupné z: <https://vytapieni.tzb-info.cz/>

HRUŠKA, František. Technické prostředky integrované automatizace. Druhé vydání. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2017. ISBN 978-80-7454-700-3.

LabVIEW Documentation Resources [online]. Dostupné z

http://zone.ni.com/reference/en-XX/help/371361P-01/lvconcepts/labview_documentation_resources/

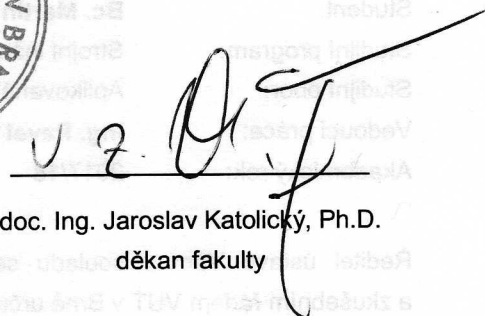
Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18.

V Brně, dne 25. 4. 2018




doc. Ing. Radomil Matoušek, Ph.D.

ředitel ústavu


doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.

děkan fakulty

ABSTRAKT

Táto diplomová práca je zameraná na problematiku testovania spaľovacieho zariadenia a procesu spaľovania dreveného paliva. Cieľom práce je oboznámiť sa s danou problematikou a analyzovať riešenia monitorovania a riadenia parametrov zdroja tepla podľa platnej legislatívy. Výsledkom práce je realizácia a overenie softvérového návrhu testovacieho systému spaľovacích zariadení pomocou vývojového prostredia NI LabVIEW.

ABSTRACT

This master thesis focuses on the testing of the combustion equipment and the wood fuel combustion process. The aim of the thesis is to get acquainted with this issue and to analyze solutions for monitoring and control of heat source parameters according to valid legislation. The result of this thesis is the realization and verification of the software design of the combustion test system using the NI LabVIEW development environment.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

Spaľovací proces, monitorovanie veličín, riadene veličín, testovanie zdrojov tepla, NI LabVIEW

KEYWORDS

Combustion process, parameter monitoring, parameter control, testing of heat sources, NI LabVIEW

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

STAŇO, M. *Testování tepelných zdrojů spalujících dřevo a dřevěnou štěpku*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 64 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Pavel Houška, Ph.D..

POĎAKOVANIE

Ďakujem môjmu vedúcemu Ing. Pavlovi Houškovi Ph.D. za odborné vedenie, cenné rady a pomoc pri tvorbe tejto diplomovej práce.

ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že táto práca je mojím pôvodným dielom. Spracoval som ju samostatne pod vedením Ing. Pavla Houšku Ph.D a s použitím literatúry uvedenej v zozname literatúry.

V Brne dňa 24.5.2018

.....

Bc. Martin Staňo

OBSAH

1	ÚVOD.....	3
2	RIADENIE A MONITOROVANIE PROCESU SPAĽOVANIA BIOLOGICKÉHO PALIVA	5
2.1	Spaľovacie zariadenia malých výkonov	6
2.2	Riadiaci systém spaľovacieho zariadenia	7
2.3	Legislatíva	8
3	MONITOROVANIE PALIVA	11
3.1	Meranie výšky hladiny tuhého paliva.....	11
3.1.1	Potenciometrické a elektromechanické snímače	11
3.1.2	Vibračné a vrtuľové snímače	12
3.1.3	Kapacitné snímače	13
3.1.4	Ultrazvukové, radarové a optické snímače	14
3.1.5	Meranie hmotnosti paliva	17
3.2	Meranie vlhkosti paliva	17
3.2.1	Priame meranie vlhkosti	17
3.2.2	Nepriame meranie vlhkosti	18
4	VELIČINY PROCESU SPAĽOVANIA.....	21
4.1	Monitorovanie a riadenie prívodu vzduchu a odvodu spalín	21
4.1.1	Monitorovanie a riadenie tlaku	21
4.1.2	Určovanie tmavosti dymu	22
4.2	Monitorovanie zloženia plynu	24
4.2.1	Meranie na základe tepelnej vodivosti plynov	24
4.2.2	Meranie na základe paramagnetického princípu	25
4.2.3	Fotoionizačné, chemiluminiscenčné a plameňové ionizačné snímače	26
4.2.4	Meranie spektrálnou analýzou	28
4.2.5	Meranie katalytickým spaľovaním a senzory CHEMFET	29
4.2.6	Snímače s pevným elektrolytom a elektrochemické snímače	31
4.2.7	Polovodičový oxidačný snímač	32
4.2.8	Chromatografické analyzátory	32
4.3	Monitorovanie a riadenie prietoku vody vodného okruhu	34
4.3.1	Objemové prietokomery	35
4.3.2	Prierezové a plavákové prietokomery.....	35
4.3.3	Ultrazvukové a indukčné prietokomery	36
4.4	Monitorovanie teploty	37
5	NÁVRH RIADENIA TESTOVACEJ SÚSTAVY TEPELNÝCH ZDROJOV MALÝCH VÝKONOV	39
5.1	Monitorovanie veličín podľa legislatívnych požiadaviek	39
5.2	Návrh riadiaceho systému	40
5.3	Automatizácia a bezpečnosť riadiaceho systému	41
5.3.1	Riadenie podtlaku pri odvode spalín	42
5.3.2	Riadenie teploty vody vodného okruhu	43
5.4	Návrh riadiaceho softvéru a užívateľského rozhrania	43
6	REALIZÁCIA MONITOROVACIEHO SYSTÉMU TEPELNÉHO ZDROJA	45

6.1	Testovacie pracovisko BeF Home s.r.o.	45
6.1.1	Hardvérové vybavenie pracoviska	46
6.1.2	Realizovaný softvér.....	49
6.1.3	Overenie systému a možnosti rozšírenia	52
6.2	Testovacie pracovisko EÚ FSI VUT.....	53
6.2.1	Hardvérové vybavenie pracoviska	54
6.2.2	Realizovaný softvér.....	56
6.2.3	Overenie systému a možnosti rozšírenia	57
7	ZÁVER.....	61
8	ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY	63

1 ÚVOD

Oheň a spaľovanie je jedným z prvých objavov, ktorý ľuďom zabezpečuje pohodlnejší život. Od jednoduchých ohnísk sa časom vyvinuli moderné spaľovacie zariadenia, ktoré slúžia ako zdroje tepla.

V spaľovacom zariadení prebieha proces spaľovania, ktorý je ovplyvňovaný viacerými faktormi. Medzi najdôležitejšie faktory patrí palivo. Palivo pre proces spaľovania môže byť rôzneho druhu. Táto práca je zameraná na využitie biologického, konkrétne dreveného paliva. Bez prítomnosti kyslíka by však k horeniu nedošlo, a preto je potrebné dbať aj na potrebný prísun vzduchu. Výrobcovia spaľovacích zariadení často kladú nároky aj na konštrukciu daného zariadenia. Ďalší faktor je umiestnenie zdroja tepla v prostredí, ktorého okolie taktiež vplýva na spaľovací proces. Efektivita spaľovania je hodnotená podľa rôznych hľadísk. Jedná sa najmä o účinnosť spaľovania s čo najmenšou produkciou emisií do okolia. S rastúcim počtom spaľovacích zariadení sa zvyšuje produkcia emisií do prostredia. Z toho dôvodu existujú legislatívne nariadenia, ktoré stanovujú limity parametrov spaľovacích zariadení.

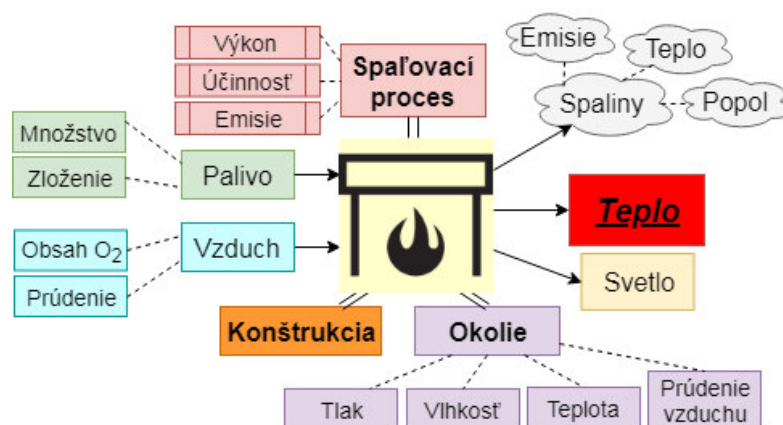
Testovanie spaľovacích zariadení prebieha pri uvedení na trh a počas revíznej kontroly z dôvodu ochrany životného prostredia. Pre splnenie legislatívnych požiadaviek spaľovacieho zariadenia musí prejsť zariadenie certifikovanou skúškou. Počas testovania zdroja tepla je nutné monitorovanie viacerých veličín procesu spaľovania. Na uľahčenie testovania je v dnešnej dobe trend automatizácie. Automatizácia testovania spaľovacích zariadení zahŕňa monitorovací a riadiaci systém, ktorý dokáže zaznamenávať, spracovávať a zapisovať dáta. Tieto dáta sú následne vyhodnotené. Systém musí byť schopný regulovať určité veličiny a kontrolovať stavy systému, aby boli bezpečné.

Cieľom tejto práce je zoznámiť sa s možnosťami monitorovania a riadenia veličín spaľovacieho procesu a na základe toho vytvoriť návrh monitorovacieho systému pre testovanie zdrojov tepla spaľujúcich drevo a drevenú štiepku podľa platnej legislatívy. Návrh systému je následne realizovaný vo vývojovom prostredí NI LabVIEW. Realizácia monitorovacieho systému prebieha v rámci spolupráce so spoločnosťou BeF Home s.r.o. a s Energetickým ústavom Fakulty strojného inžinierstva VUT v Brne, kde sa nachádzajú testovacie pracoviská zdrojov tepla. Motiváciou a zmyslom tejto práce je uľahčenie testovania parametrov zdrojov tepla na obidvoch testovacích pracoviskách.

2 RIADENIE A MONITOROVANIE PROCESU SPAĽOVANIA BIOLOGICKÉHO PALIVA

Podstatou spaľovacieho procesu (Obr. 1) je horenie paliva za vzniku svetla a tepla (exotermická reakcia). Teplo z reakcie je využívané na vykurovanie, ohrev vody alebo varenie. K spaľovacej reakcii dochádza pri všetkých teplotách, ale závisí na nej rýchlosť reakcie. Ak je rýchlosť reakcie väčšia než rýchlosť zvuku, jedná sa o výbuch. Odpadovým produktom procesu spaľovania je vznik spalín (splodín).

Proces horenia má cyklický charakter. Cyklus začína priložením dávky paliva na dohorievajúce zvyšky predošlej a končí priložením nasledujúcej dávky. Pre užívateľa spaľovacieho zariadenia je okrem tepelného výkonu dôležitým parametrom dĺžka tohto cyklu, na ktorej závisí početnosť prikladania paliva. Približne tri kilogramy suchého dreva sa dokážu spáliť na otvorenom ohnisku za štvrt' hodiny. Pomocou spaľovacieho zariadenia je možné zaistiť, aby tieto tri kilogramy paliva horeli najmenej hodinu pri minimálnej produkcii škodlivín do ovzdušia a aby sa nasledujúca dávka paliva spoľahlivo vznietila. Priebeh cyklu je okrem konštrukcie spaľovacieho zariadenia ovplyvňovaný viacerými faktormi, a to najmä rýchlosťou spaľovania, okolím spaľovacieho zariadenia, vzduchovým režimom, kvalitou a množstvom paliva. [1]



Obr. 1) Schéma procesov tepelného zdroja

Organická zložka paliva (horľavina) sa skladá z piatich základných prvkov: uhlík (C), vodík (H), kyslík (O), dusík (N) a síra (S). Prvé tri prvky zásadne ovplyvňujú spaľovací proces a zvyšné dva majú vplyv na produkciu znečisťujúcich látok (tvorba NO_x a SO₂). Základným a zároveň najdôležitejším parametrom paliva je jeho výhrevnosť a spalné teplo. Zjednodušene povedané, čím je väčšia výhrevnosť, tým menej paliva je potrebného na vykúrenie rovnakého priestoru. Spalné teplo je definované ako teplo uvoľnené pri spálení jednotkového množstva paliva s tým, že produkty spaľovania (spaliny) sú ochladené na pôvodnú teplotu paliva (voda opäť skondenzuje). Pre dosiahnutie regulovaného spaľovacieho procesu sa využívajú spaľovacie zariadenia. [1]

2.1 Spaľovacie zariadenia malých výkonov

Táto práca sa zaoberá spaľovacími zariadeniami malých výkonov, konkrétne kotlami a krbmi na drevo, drevené pelety, brikety a štiepku. Tieto zariadenia produkujú teplo uvoľnené spaľovaním a predávajú ho bezprostredne do miestností alebo do pracovnej látky (vody), ktorá je následne rozvádzaná do jednotlivých miestností potrubím.

Krby (Obr. 2), ako zdroj tepla, majú dlhú históriu a tradíciu. Na rozdiel od kotlov vytvárajú okrem samotného vykurovania aj príjemnú atmosféru. Nedostatkom tradičných krbov je nízka účinnosť. U otvorených krbov uniká asi 90% energie paliva bez úžitku komínom (10% účinnosť). V súčasnej dobe umožňujú technické prostriedky uzatvoriť ohnisko sklom, a regulovať tak množstvo spaľovacieho vzduchu s nárastom účinnosti až na 80%. Účinnosť spaľovacieho zariadenia sa počíta ako pomer vyrobeného tepla (tepelný výkon) k dodanému teplu (príkion). V Európe sa pri výpočte účinnosti vyjadruje dodané teplo z výhrevnosti paliva, preto sa v prípade kondenzačných kotlov môže dostať na hodnotu väčšiu ako 100%. Nejedná sa však o perpetuum mobile, pretože v prípade vyjadrenia dodaného tepla zo spalného tepla, jej hodnota nepresiahne 100%. [1] [2]



Obr. 2) Krb v prevedení spoločnosti BeF Home s.r.o. [3]

Okrem individuálnej účinnosti zariadení je potrebné myslieť na produkciu škodlivín do okolia. Napriek tomu, že drevo patrí k najekologickejším palivám, jeho nevhodné používanie môže prudko znečistiť lokálne ovzdušie. Pri spaľovaní nedostatočne vysušeného dreva má vysoký obsah vody vplyv na zníženie teploty v ohnisku. Horľavé zložky nestihnú vyhorieť a vychádzajú v spalínach z komína do ovzdušia. Jedná sa najmä o zvýšenú koncentráciu oxidu uhoľnatého (CO), polyaromatických uhľovodíkov a iných splodín. Z tohto dôvodu je nutné monitorovanie vlhkosti a taktiež hmotnosti dodaného paliva, ktoré úzko súvisia s množstvom vyprodukovaných emisií.

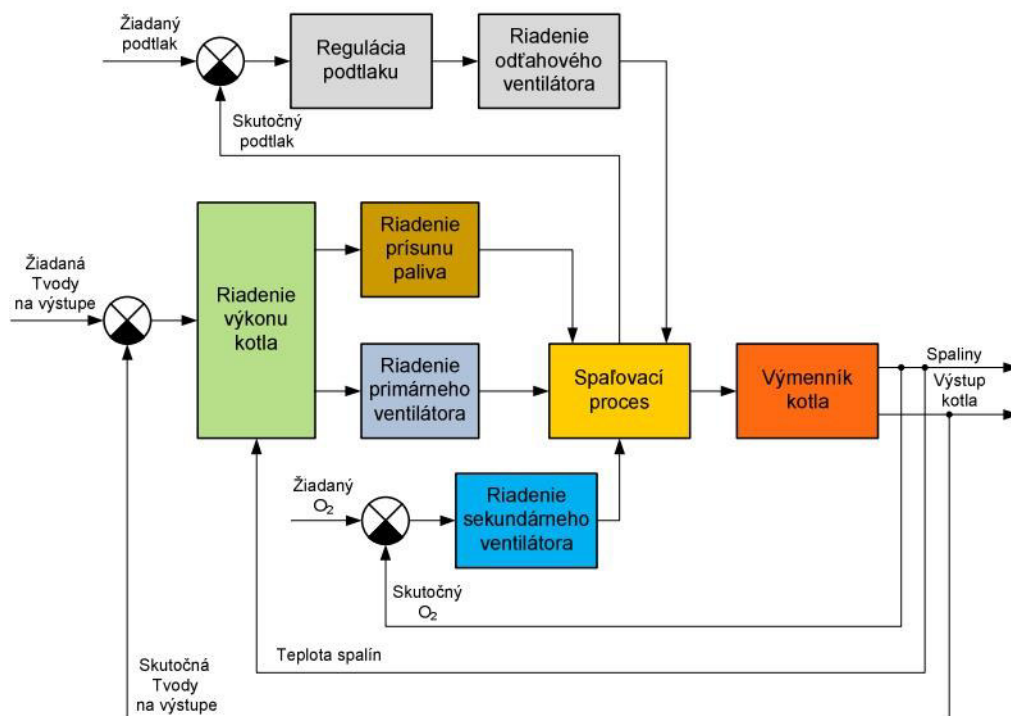
Lokálne spaľovacie zariadenia na tuhé palivá (kotly) slúžia na lacné a efektívne vykurovanie jednotlivých miestností. Nevýhodou týchto zariadení je nutnosť manipulácie s palivom a popolom, periodické prikladanie paliva, a s tým spojená zvýšená prašnosť a znečistenie okolia. V súčasnej dobe sa využívajú systémy s centrálnym vykurovaním, ktoré poskytujú užívateľský komfort. Kotly sú najčastejšie vybavené technickými prostriedkami ako je automatické riadenie, zásobník, dopravník paliva alebo automatické odstraňovanie popolu, čo výrazne zvyšuje čistotu prostredia a uľahčuje prácu človeka.

V splyňovacích kotloch, ktoré dosahujú účinnosti 85 - 90%, je možná výrazná úspora paliva. Podmienkou je použitie suchého dreva s vlhkosťou do 20%. Konštrukcia splyňovacieho kotla má dva varianty podľa spôsobu práce ventilátora. Ventilátor buď vháňa spaľovací vzduch do kotla, kde vzniká pretlak alebo je umiestnený na výstupe dymovodu, kde odsáva spaliny z kotla a vytvára tak podtlak. Druhý variant zvyšuje účinnosť kotla, zlepšuje kvalitu spaľovania a umožňuje bezpečné vyberanie popolu.

Technicky dokonalejším riešením je kotol s kontinuálnou dopravou paliva. Toto riešenie stabilizuje spaľovací proces a minimalizuje emisnú koncentráciu škodlivín. Prevedenie kotla spočíva v rozdelení ohniska na dve časti. Do menšej časti sa privádza palivo, ktoré uvoľňuje prchavú horľavinu. Vo väčšej časti potom horľavé zložky dohorievajú. [2] [4]

2.2 Riadiaci systém spaľovacieho zariadenia

Moderné spaľovacie zariadenie malých výkonov sa vyznačuje prítomnosťou technických automatizačných prostriedkov, ktoré vyžadujú riadiaci systém. Automatizované zariadenie pozostáva zo systému zásobovania, zo systému prívodu vzduchu a odvodu spalín. Ďalšími komponentami sú systém riadenia spaľovacieho procesu, výkonu spaľovacieho zariadenia a analyzátor spalín. Modelový príklad automatického spaľovacieho zariadenia je schematicky znázornený na blokovej schéme Obr. 3.



Obr. 3) Bloková schéma riadiaceho systému spaľovacieho zariadenia [4]

Systém zásobovania a prísunu paliva pozostáva zo zásobníku s monitorovaním hladiny (množstva) paliva, z dopravníku paliva do ohniska a zo systému zabezpečenia proti zahoreniu paliva v dopravnej ceste alebo zásobníku. Súčasťou tohto systému je aj

komplexný riadiaci a regulačný systém prísunu paliva, ktorý využíva monitorovanie viacerých parametrov reálnej sústavy. Medzi najpodstatnejšie monitorované veličiny patrí výška hladiny, vlhkosť a hmotnosť dávky paliva.

Ďalšou časťou riadiaceho systému spaľovacieho zariadenia je systém prívodu vzduchu a odvodu spalín, ktorý pozostáva z viacerých ventilátorov a klapiek, ktoré sú regulované a riadené riadiacim systémom. Prísun primárneho vzduchu je regulovaný na množstvo dodaného paliva a prísun sekundárneho vzduchu na koncentráciu O_2 v spaľovacej komore. Ďalšie monitorované veličiny sú podtlak v komíne, podtlak alebo pretlak v spaľovacej komore, teplota spalín, teplota v spaľovacej komore a emisné zloženie spalín. Týmito veličinami sú riadené ventilátory prísunu vzduchu a odťahové ventilátory, buď priamo otáčkami alebo klapkami. Monitorovaním spalín, dymu a množstvom dodaného kyslíku je možné dosiahnuť zlepšenie účinnosti spaľovacieho procesu. Dôležité je monitorovanie množstva kyslíku a oxidu uhoľnatého, ktoré výrazne ovplyvňujú tento proces. Z legislatívneho hľadiska je nutné taktiež dbať na povolené limity emisií v spalinách, ktoré sú vypúšťané do ovzdušia.

Komplexný riadiaci systém spaľovacieho zariadenia, ktoré je pripojené k vodnému okruhu s výmenníkom vody monitoruje teploty vody, a to na vstupe, na výstupe, prípadne lokálne teploty okruhu. Regulácia teploty vody je sprostredkovaná pomocou riadenia trojcestného zmiešavacieho ventilu. Celý systém optimalizuje spaľovanie paliva s čo najväčšou účinnosťou a požiadavkou na maximálny tepelný výkon. [4]

2.3 Legislatíva

Hlavným žiadaným produktom spaľovacieho zariadenia je teplo. Okrem neho však uniká do prostredia množstvo nežiadúcich znečisťujúcich látok. Jedným z nástrojov na zníženie množstva škodlivých látok v ovzduší sú legislatívne požiadavky na spaľovacie zariadenia a palivo, ktoré sú platné v celej EÚ, a ďalšie požiadavky platné v jednotlivých krajinách. Jedná sa o požiadavky na emisie a účinnosť, ktoré sú cielené pre výrobcov lokálnych spaľovacích zariadení. Výrobcovia musia dokázať ich splnenie pri uvedení zariadenia na trh. Požiadavky na teplovodné kotle sú okrem výrobcov a dovozcov zamerané aj na prevádzkovateľov týchto zariadení. Lokálne ohrievače, slúžiace hlavne na vykurovanie miestností, v ktorej sú umiestnené alebo určené na varenie, je možné terminologicky rozdeliť podľa noriem (Tab. 1), ktoré sú danému spaľovaciemu zariadeniu určené. Tieto normy okrem EN 15821 sú zhrnuté v sérii noriem EN 16510, ktoré pojednávajú o domácich spaľovacích zariadeniach na tuhé palivá a nahrádzujú staré normy. V normách sú zahrnuté národné požiadavky na zariadenia a taktiež skúšobné metódy testovacieho merania zdrojov tepla. [1] [5] [6]

Tab. 1: Prehľad noriem pre vykurovacie zariadenia [1] [5] [6]

Norma	Názov	CO [%]	CO [mg/m ³ N]	Účinnosť [%]
EN 13229	Vstavané spotrebiče na vykurovanie a kozubové vložky na tuhé palivá	1,0	12500	30
EN 13240	Spotrebiče na tuhé palivá na vykurovanie obytných priestorov	1,0	12500	50
EN 15250	Akumulačné zariadenia na pevné palivá	0,3	3750	70
EN 12815	Spotrebiče na varenie pre domácnosť na tuhé palivá	1,0	12500	60
EN 14785	Spotrebiče na vykurovanie obytných priestorov na drevené pelety	0,04	500	75
EN 15821	Multispaľovacie saunové pece na tuhé palivo	1,0	12500	50

Okrem týchto noriem je v ČR platný zákon o ochrane ovzdušia č. 201/2012 Sb., ktorý kategorizuje zdroj tepla podľa jeho (celkového) príkonu. Tento zákon rozdeľuje limity pre lokálne ohrievacie zariadenia podľa referenčného kyslíku. Pre kotly je referenčná hodnota kyslíku 10% na rozdiel od lokálnych vykurovacích zariadení, kde je hodnota 13%. V praxi to znamená prísnejšie limity pre kotly, pretože ak uvažujeme bežné podmienky ovzdušia s 21 percentným obsahom kyslíku, tak pomer rozdielov bežných hodnôt od referenčnej hodnoty je 8/11, čo odpovedá približne 73% požiadavky na lokálne vykurovacie zariadenia.

Spaľovacie stacionárne zdroje menovitého tepelného príkonu 300 kW a nižším, ktoré sú uvádzané na trh ČR, musia spĺňať emisné limity pre CO, celkový organický uhlík (TOC) a prach (TZL – tuhé znečisťujúce látky). Pre zariadenia, ktoré sa použijú od 1.1.2018 do 31.12.2019 platia emisné limity podľa prílohy č. 10 zákona o ochrane ovzdušia č. 201/2012 Sb. (Tab. 2). Tieto hodnoty sa vzťahujú k suchým spalinám teploty 273,15 K, tlaku 101,325 kPa a k danému referenčnému obsahu kyslíku (10 alebo 13%) pri použití biologického paliva. [1] [7]

Tab. 2: Emisné limity pre spaľovacie zariadenia podľa 201/2012 Sb. [1]

Dodávka paliva	CO [mg/m ³ N]	TOC [mg/m ³ N]	TZL [mg/m ³ N]
Ručná	1200	50	75
Samočinná	1000	60	30

Pre vykurovacie kotly na tuhé palivá s ručným a automatickým prikladaním paliva s menovitým výkonom do 500 kW platí Európska norma EN 303-5 a jej novely. V norme je uvedené rozdelenie emisných tried kotlov od najnižšieho prvého stupňa po najvyšší piaty stupeň. Táto norma kategorizuje spaľovacie zariadenia podľa výkonu, na rozdiel od

zákona 201/2012 Sb., ktorý kategorizuje zariadenia podľa celkového príkonu. Prehľad povinností, ktoré súvisia s predajom a prevádzkou kotlov na tuhé palivá do 500 kW je zhrnutý v Tab. 3. Od 1.1.2020 do 31.12.2021 sa legislatívne požiadavky ešte sprísnia a od roku 2022 výrobcovia lokálnych ohrievačov priestoru na tuhé palivo s menovitým tepelným výkonom 50 kW alebo menej musia dodržiavať Nariadenie komisie EÚ 2015/1185 z 24. apríla 2015, ktorým sa vykonáva smernica Európskeho parlamentu a Rady 2009/125/ES, pokiaľ ide o požiadavky na EKODESIGN lokálnych ohrievačov priestoru na tuhé palivo. Zjednodušene je možné povedať, že EKODESIGN rozširuje požiadavky na piatu emisnú triedu spaľovacích zariadení a na základe jeho požiadaviek je doporučený návrh zariadenia už v období do roku 2022 napríklad v rámci programov „kotlíkových“ dotácií. Toto nariadenie zavádza požiadavky na sezónnu energetickú účinnosť vykurovania. [1] [7]

Tab. 3: Prehľad povinností predaja a prevádzky kotlov na tuhé palivá do 500 kW [1] [7]

Platnosť od	Popis nariadenia
1.1.2014	Zákaz predaja kotlov 1. a 2. ET
1.1.2017	Povinnosť na vyžiadanie predložiť revíziu kotla a jeho označenie ET
1.1.2018	Zákaz predaja kotlov 3. ET
1.1.2020	Zákaz predaja kotlov 4. a 5. ET, možnosť zakúpiť a prevádzkovať kotle, ktoré spĺňajú požiadavky EKODESIGN
1.9.2022	Zákaz používania kotlov 1. a 2. ET

Limity emisií sú zatiaľ v rámci EÚ rozdielne, no po uvedení Nariadenia komisie EÚ 2015/1185 by sa mali od 1.1.2022 zjednotiť. Dnes najkomplexnejšie sleduje emisie znečisťujúcich látok Rakúsko a najmenej prísne požiadavky má Európska norma. Ako príklad je zobrazený v Tab. 4 prehľad porovnania minimálnych požiadaviek emisií do roku 2018 v rámci EÚ a pre vybrané štáty. Údaje sú platné pre inštalácie krbových vložiek s teplovodným výmenníkom menovitého výkonu 8 kW na ručne prikladané kusové drevo pri referenčnom kyslíku $O_2 = 13\%$ (1. BImSchV je norma platná v Nemecku a 15a B-VG je Rakúska norma). [1]

Tab. 4: Porovnanie emisných požiadaviek v krajinách EÚ [1]

Norma	CO [mg/m ³ N]	TOC [mg/m ³ N]	NO _x [mg/m ³ N]	TZL [mg/m ³ N]	Účinnosť [%]
EN 13229	12500	-	-	-	30
Zák. 201/2012 Sb. (do 2018)	5000	-	-	150	-
Zák. 201/2012 Sb. (do 2020)	1200	-	-	75	-
Zák. 201/2012 Sb. (do 2022)	1500	120	200	40	-
EU 2015/1185	1500	120	200	40	65
1. BImSchV	1250	-	-	40	75
15a B-VG	716	43	143	50	80

3 MONITOROVANIE PALIVA

Palivo spaľovacích kotlov je jedným z dôležitých faktorov, ktoré ovplyvňujú spaľovací proces. Palivo je umiestnené v zásobníku, ktorý je vybavený zariadením na monitorovanie výšky hladiny respektíve množstva paliva. Pre proces spaľovania je dôležitým parametrom množstvo dávky vstupného paliva. Množstvo dávky paliva sa určuje jeho váhou.

Automatizované spaľovacie systémy využívajú riadený dopravníkový systém, ktorý automaticky reguluje prísun paliva. Tento systém môže byť vybavený dávkovačmi paliva, bezpečnostnými snímačmi teploty, systémom na zhasenie požiaru paliva, prípadne kamerovým systémom. Kvalitu spaľovania ovplyvňuje taktiež zloženie paliva. Najdôležitejším faktorom je jeho vlhkosť, ktorá vplýva na účinnosť a tvorbu emisií počas tohto procesu, preto je potrebné monitorovať túto veličinu. [1]

3.1 Meranie výšky hladiny tuhého paliva

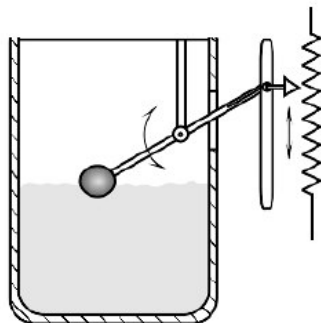
Automatické meranie výšky hladiny je v dnešnej dobe trendom v nahradzovaní klasických jednoduchých hladinomerov ako sú tyčové meradlá, pravítka a priehľadové hladinometry s priezormi. Existujú viaceré možnosti, ako toto meranie vykonať. Pre použitie merania hladiny tuhého paliva sú k dispozícii nasledovné snímače:

- Potenciometrické
- Elektromechanické
- Hmotnostné
- Vibračné
- Vrtuľové
- Kapacitné
- Ultrazvukové
- Radarové
- Optické

3.1.1 Potenciometrické a elektromechanické snímače

Potenciometrické a elektromechanické snímače sú dotykové elektromechanické zariadenia. Snímač polohy alebo posuvu môže fungovať na princípe lineárneho alebo rotačného potenciometru, ktorý využíva lineárny pomer odporu a dĺžky drôtu. Zariadením, ktorým je možné na základe merania odporu kontrolovať dĺžku drôtu, môžeme merať hladinu. Tento typ snímača patrí medzi aktívne, pretože na meranie odporu si vyžaduje prítomnosť elektrickej energie. Pomer rozsahu snímača (výšky hladiny) k napájaciemu napätiu je úmerný pomeru nameraného napätia k aktuálnej hladine. Princíp merania hladiny je zobrazený na Obr. 4. Snímací prvok je priamo mechanicky spojený s bežcom potenciometra. Potenciometer je zložený z drôtu stočeného do špirály (priemer cca 0,01 mm) a bežca. Bežec, ktorý sa pohybuje po vedení,

je v kontakte vždy s jedným alebo dvoma závitmi, čo spôsobuje nerovnomerné kroky napätia a tým premenlivé rozlíšenie. Rozlíšenie týchto snímačov sa pohybuje približne v hodnote 0,1 % rozsahu. [8]



Obr. 4) Potenciometrický snímač hladiny [8]

Elektromechanický hladinomer (Obr. 5) funguje na princípe periodického spúšťania valcového závažia navinutého na lanku, respektíve ocelevej pásky, do zásobníka pomocou motoru. Dĺžka odvinutého lanka, ktoré je navinuté na meracom bubne, udáva polohu hladiny paliva. Po detegovaní odľahčenia lanka je získaná poloha hladiny a lanko sa následne začne navíjať. Na páske sú vyznačené určité body, ktoré sa počas navíjania a odvíjania prevádzajú na elektrické impulzy. Tie sú vyhodnotené riadiacou jednotkou.

Výhodou týchto snímačov je ich jednoduché a lacné prevedenie a obsluha, no napriek výhodnému použitiu v niektorých aplikáciách, potenciometrické snímače prinášajú niekoľko nevýhod. Medzi najväčšie nevýhody patrí prítomnosť mechanických prvkov, a s tým spojené problémy ako je trenie alebo fyzický kontakt s meraným objektom. Ďalším negatívom je pomalá rýchlosť merania, napájanie snímača, zahrievanie snímača a nestabilita v rámci prostredia. [8]



Obr. 5) Elektromechanický hladinomer [9]

3.1.2 Vibračné a vrtuľové snímače

Vibračné snímače hladiny pracujú na princípe porovnávania kmitania telesa vo voľnom priestore oproti kmitaniu v priestore naplnenom hmotou (Obr. 6). Vibrujúcim prvkom je

vidlica alebo tyč, ktorá je rozkmitaná na rezonančnú frekvenciu piezoelektrickým alebo elektromechanickým meničom. Pri styku vibrujúceho prvku s meraným médiom nastáva útlm amplitúdy kmitov, a tým sa zmení frekvencia kmitania prvku.

Kompaktné zariadenie vibračného snímača pozostáva okrem kmitajúceho prvku z potrebných elektronických obvodov na budenie a vyhodnocovanie kmitov. Kmity sa vyhodnocujú buď meraním útlmu kmitov alebo vyhodnotením zmeny rezonančnej frekvencie. Frekvencie kmitov vidlíc s dlhými hrotmi vo vzduchu sa pohybujú od 100 do 500 Hz, krátke vidlice kmitajú s vyššou frekvenciou (1300 Hz). Frekvencie sú volené tak, aby nevytvárali rušenie prevádzky. Pre aplikácie merania hladiny sypkých materiálov sa používajú dlhšie vidlice. Typické použitie týchto snímačov je na vyhodnocovanie minimálnej a maximálnej hladiny. Nevýhodou týchto snímačov je riziko zachytenia materiálu na vidlici, čo vedie k chybe merania. [9]



Obr. 6) Princíp vibračného snímača hladiny [9]

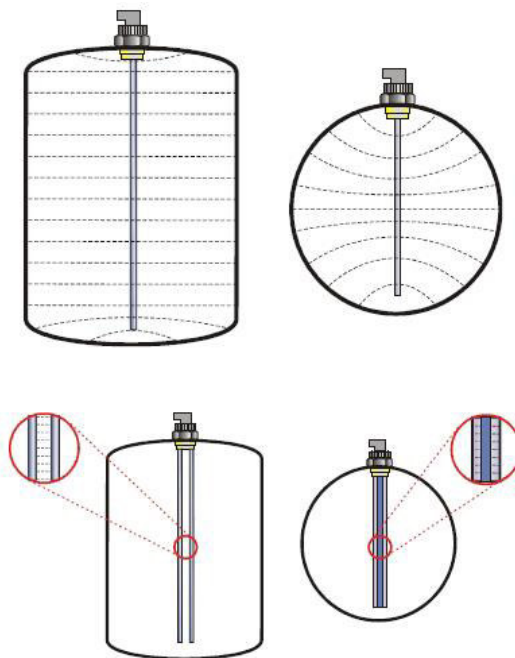
Podobne ako vibračné snímače existujú snímače vrtuľové (lopatkové), ktoré využívajú útlm, prípadne zastavenie otáčania vrtuľky zavesenej nad hladinou a poháňanej elektromotorom. Pri dotyku s hladinou meraného média sa vrtuľka spomalí alebo zastaví a tým signalizuje dosiahnutie určitej polohy hladiny. Tento snímač ma funkciu poistky proti preplneniu zásobníku. Výhodou týchto snímačov hladiny je, že meranie nie je ovplyvnené zmenami vlastností meraného média. V určitom prevedení môže slúžiť aj ako dávkovač paliva. [9]

3.1.3 Kapacitné snímače

Kapacitné snímače hladiny pracujú na princípe merania kapacity kondenzátoru, ktorého elektródy prichádzajú do styku s meraným médiom. Konštrukcia snímača závisí na vodivosti meraného média. Snímač je tvorený kondenzátorovými platňami, medzi ktorými je vrstva dielektrika a vrstva vzduchu s rozličnou kapacitou.

Permitivita a elektrická vodivosť sú dôležité parametre, ktoré charakterizujú merané médium. Meranie kapacitným snímačom hladiny je jednoduchšie, čím väčší je rozdiel permitivity meraného média a permitivity prostredia nad hladinou. V prípade rozdielu permitív menších ako 1 je nutné použiť snímač s veľkou citlivosťou. Permitivita média sa mení vplyvom teploty, vlhkosti, zloženia materiálu a veľkosti častíc. Typické použitie je limitné snímanie paliva bezkontaktným spínačom s kapacitným senzorom. Obe elektródy sa nachádzajú vo vnútri puzdra z nevodivého materiálu. Zmena kapacity je závislá aj na tvaru zásobníku. V nádrži s rovnou zvislou stenou je zmena

kapacity v závislosti na polohe lineárna v celom rozsahu, ale v zásobníku so zaoblenou stenou, je táto závislosť nelineárna. Dôvodom je rozdielna vzdialenosť steny nádrže a elektródy. V týchto prípadoch sa používajú snímače s viacerými elektródami alebo snímače s referenčnou trúbkou okolo meracej elektródy (Obr. 7). [9]



Obr. 7) Vplyv tvaru nádrže na lineárnosť merania hladiny [9]

Vyhodnocovacie obvody kapacitných snímačov nemerajú v zásade len kapacitu, ale vyhodnocujú impedanciu. Pri meraní je na elektródy kapacitného snímača privádzaný budiaci vysokofrekvenčný signál, a tým sa vyvolá striedavý prúd medzi elektródami, ktorý preteká nevodivým dielektrikom. Zmeny parametrov kapacitného snímača spôsobené zmenami polohy meraného média ovplyvňujú veľkosť vysokofrekvenčného prúdu medzi elektródami.

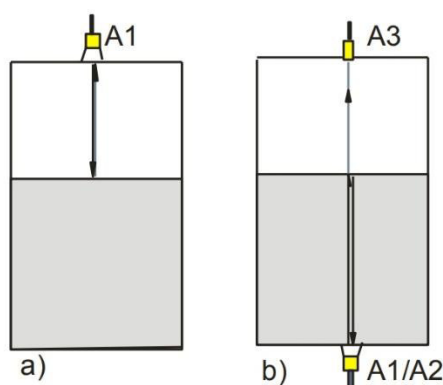
Výhody kapacitných snímačov spočívajú v ich jednoduchej a robustnej konštrukcii bez pohyblivých častí, možnosti dobre odolávať korózii, jednoduchosti čistenia a použiteľnosti v nebezpečnom prostredí. Elektródy sú vo veľkostiach od 0,2 do 30 m. Medzi ich nevýhody patrí závislosť na relatívnej permitivite meraného média, ktorá sa mení vplyvom teploty a vlhkosti. Kapacitné snímače hladiny vyžadujú vždy kalibráciu. [9]

3.1.4 Ultrazvukové, radarové a optické snímače

Ultrazvuk je mechanické vlnenie (zvuk) s frekvenciou vyššou než 20 kHz. Pre šírenie mechanického vlnenia je nutná prítomnosť látkového prostredia. Meracie zariadenie pozostáva z generátoru, vysielača, prijímača, zosilňovača ultrazvukového signálu a elektronického vyhodnocovacieho zariadenia. Pri spojitom meraní polohy hladiny sa meria doba priechodu ultrazvukovej vlny od vysielača, cez odraz od hladiny a späť k prijímaču. Z nameranej doby sa pri známej rýchlosti šírenia ultrazvuku v danom

prostredí vypočíta vzdialenosť. Táto metóda sa označuje ako TOF (Time of Flight). Poloha sa stanovuje odčítaním polovice nameranej dráhy impulzu od maximálnej vzdialenosti (dno zásobníka). Merané časové intervaly sa pohybujú od desatín až do jednotiek sekúnd. Kvalitu odrazu ultrazvukového signálu značne ovplyvňujú vlastnosti povrchu meraného média. Pre funkciu ultrazvukového hladinomeru je potrebná dostatočná energia odrazenej vlny. V prípade sypkého alebo granulovaného materiálu sa od povrchu odráža menej energie, a preto je potrebné väčšie množstvo počiatočnej energie vysielaného signálu. Rozsah ultrazvukového hladinomeru je závislý na útlmu (energetické straty) ultrazvukového signálu na svojej dráhe. [9]

Schéma ultrazvukového snímača hladiny je zobrazená na Obr. 8. V odrazovom prevedení (Obr. 8a) je v hornom telese (A1) umiestnený vysielateľ a zároveň aj prijímač ultrazvuku. V priechodnom prevedení (Obr. 8b) je generovaný ultrazvukový signál z vysielateľa (A1) čiastočne odrazený do prijímača (A2). Časť ultrazvuku sa šíri ďalej prostredím k hornému prijímaču (A3). [10]



Obr. 8) Ultrazvukový snímač hladiny: a) odrazový b) priechodný alebo odrazový [10]

Ultrazvukové hladinomery bývajú často vybavené integrovaným snímačom teploty na korekciu vplyvu teploty na rýchlosť šírenia zvuku. Presnosť merania ultrazvukovými snímačmi sa zhoršuje v zásobníkoch s nerovnomerným povrchom, napríklad so zabudovanými prírubami, potrubím, rôznymi priehradkami a podobne. Inteligentnými snímačmi sa preto vykoná mapovanie prázdnej nádoby, kde sa zaznamenajú všetky odrazy, ktoré prijme prijímač. Následne sa zaznamená doba priechodu a amplitúda odrazeného signálu. Výsledok sa štatisticky vyhodnotí a nežiadúce signály, tzv. falošné odrazy, sa následne eliminujú potlačením.

Medzi výhody ultrazvukových hladinomerov patrí absencia pohyblivých súčastí, bezkontaktné spojené meranie, možnosť inštalácie z vonkajšej strany zásobníka bez porušenia tesnosti, nezávislosť na elektrickej vodivosti a dielektrických vlastnostiach média a kompaktnosť snímačov. Rozlišovacia schopnosť je až 1 mm a presnosť v ráde desatín percenta meracieho rozsahu. Medzi nevýhody patrí ovplyvnenie signálu v prítomnosti prašného prostredia, vplyv teploty a mapovanie zásobníka.

Radarové hladinomery pracujú analogicky ako ultrazvukové hladinomery s tým rozdielom, že namiesto ultrazvuku sa prostredím šíri rýchlosťou svetla elektromagnetické

vlnenie (mikrovlnné žiarenie). Frekvencie mikrovlnných vln sa pohybujú v rozmedzí približne od 1 až 300 GHz a u radarových hladinomerov sa používajú frekvencie v rozsahu od 5,8 do 26 GHz. Radarové hladinomery je možné rozdeliť na bezkontaktné a kontaktné (reflektometrické). U bezkontaktných sa mikrovlny šíria prostredím nad hladinou meraného média, u kontaktných sa šíria vlnovodom, ktorý je v styku s meraným médiom. Rýchlosť šírenia mikrovln je závislá na relatívnej permitivite a relatívnej permeabilite prostredia. Kvalita odrazu mikrovln závisí na permitivite povrchu.

Bezkontaktné radary využívajú pulznú časovú metódu na vysielanie a prijímanie krátkych mikrovlnných impulzov pomocou antény. Vzhľadom na vysoké nároky presnosti merania času u pulzného radaru je vhodnejší radar s rozmetaním spojitého signálu. Tento typ radaru využíva frekvenčnú metódu FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave), ktorá spočíva vo vysielaní spojitého signálu s premennou frekvenciou. Najpoužívanější vysielaný signál je pílovitého tvaru v dynamicky sa meniacom určitom pásme (napr. od 24 do 26 GHz).

Pri meraní sypkých látok je nutné brať v úvahu prítomnosť vzduchu v priestoroch medzi časticami. Kvôli tomu je hodnota relatívnej permitivity nižšia ako u homogénneho materiálu. Ďalším faktorom je vytvorenie kužeľa materiálu (nevodorovná hladina), preto je doporučené inštalovať snímače pod určitým uhlom a mimo os zásobníka. Rušivé vplyvy je možné potlačiť pri vyhodnotení signálu kompenzáciou pomocou softvéru.

Kontaktné radarové hladinomery využívajú šírenie mikrovlnného impulzu vo vlnovode nainštalovanom v zásobníku. Najčastejšie sa jedná o koaxiálny kábel, dvojlinku, dve tyče alebo lano opatrené teflónovým povlakom. Funkcia reflektometrického hladinomeru vychádza z javu, že ak vedenie nie je ukončené charakteristickou impedanciou, tak sa prenášaný signál odráža v rovine hladiny, pričom intenzita odrazeného signálu závisí na permitivite média. U látok s vyššou permitivitou ($\epsilon_r > 1,8$) je možné merať priamo časový rozdiel medzi vyslaním a prijatím odrazeného impulzu. Táto metóda sa označuje ako TDR (Time Domain Reflection).

Medzi výhody radarových hladinomerov patrí funkcia bez pohyblivých súčastí, vysoká presnosť (1 mm) a spoľahlivosť v náročných prevádzkových prostrediach. Nevýhodou reflektometrických hladinomerov je kontakt s meraným médiom.

Optické snímače hladiny sú založené na princípe priechodu (transmisia) alebo odrazu (reflexia) lúčov viditeľného, infračerveného alebo laserového žiarenia. Laserové snímače fungujú na podobných princípoch ako radarové hladinomery, a teda využívajú metódy TOF alebo FMCW.

Snímače, ktoré využívajú priechod svetla (transmisné), sa využívajú väčšinou ako spínače. Ak hladina vystúpi nad úroveň umiestnenia snímača, dochádza k absorpcii svetla a detektor zaznamená zmenu intenzity. Výhodou je schopnosť detegovať rôznorodé médiá, nezávislé na ich vodivosti, permitivite a podobne. Funkcia snímača môže byť negatívne ovplyvnená prašným prostredím, kedy sa nečistoty usadia na meracej sonde. Reflexné optické snímače využívajú na detekciu polohy hladiny odraz viditeľného alebo

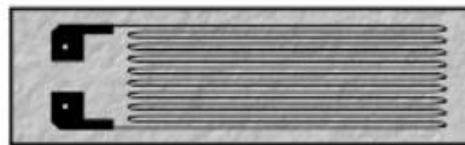
infračerveného svetla od hladiny meraného média. Princíp je zhodný s ultrazvukovými alebo radarovými hladinomeri. [8] [9]

3.1.5 Meranie hmotnosti paliva

Monitorovanie hladiny paliva (množstva) môže prebiehať meraním hmotnosti nádrže s palivom. Hmotnosť zásobníku sa zisťuje vážením pomocou vhodného silo merného člena, ktorého citlivým prvkom býva tenzometrický senzor. [9]

Tenzometer (snímač sily) je pružné teleso, ktoré sa vplyvom meranej sily deformuje (Obr. 9). V ideálnom prípade je táto deformácia lineárna. V podstate sa jedná o zapojenie rezistoru, ktorý v dôsledku mechanickej sily (deformácie) mení svoju hodnotu odporu. Na základe priamej úmery sily a odporu je podľa Newtonovho druhého zákona získaná meraná hmotnosť. [8]

Výhodou metódy merania výšky hladiny pomocou váženia je, že zásobník môže mať ľubovoľný tvar, meraná látka môže byť akéhokoľvek skupenstva a hladina meraného média nemusí byť absolútne vodorovná. Taktiež je zároveň zistená hmotnosť, respektíve objem meraného média. Tento princíp sa využíva aj na zistenie množstva dávky vstupného paliva pre spaľovacie zariadenie. [10]



Obr. 9) Tenzometrický senzor na elastickom podklade [8]

3.2 Meranie vlhkosti paliva

Vlhkosť vyjadruje percentuálny hmotnostný podiel vody ku hmotnosti suchého paliva. V rámci procesu spaľovania vplyva vlhkosť zásadne na výhrevnosť paliva, pretože s rastúcim obsahom vody v palive sa znižuje energetický zisk, kvôli potrebe tepla na premenu vody na vodnú paru. Ďalším dôvodom merania vlhkosti je zvýšená koncentrácia emisií pri nedokonalom spaľovaní, ktoré nastáva pri nedostatočne suchom palive. Existujú tri základné princípy merania vlhkosti materiálu. Priama metóda spočíva v oddelení vody od pevnej fázy. Druhá metóda je stanovenie vlhkosti na základe špecifických vlastností vody. Tretou metódou je meranie inej veličiny v súvislosti s obsahom vody. [1] [11]

3.2.1 Priame meranie vlhkosti

Priamym meraním vlhkosti sa voda oddeľuje od pevnej fázy. Jedná sa o gravimetrickú (váhová) a destilačnú metódu. Gravimetrická metóda spočíva zo zistenia vlhkosti z úbytku hmotnosti počas procesu sušenia. Postup začína zistením hmotnosti vlhkého dreva, ktoré sa následne suší pri teplote 103 ± 2 °C. Sušenie sa kontroluje opakovaným

vážením. Drevo sa považuje za vysušené, keď medzi vážením v intervale dvoch hodín sa hmotnosť nezmenila o viac než 1%.

Druhou priamou metódou je xylénová metóda, ktorá spočíva v destilácii paliva s rozpúšťadlom xylénom, pri ktorej pary rozpúšťadla so sebou strhávajú pary vody. Kondenzát sa nahromadí v kalibrovannej časti destilačného nástavca, a ten sa následne odmeria a vyhodnotí.

Výhodou priamych metód je ich vysoká presnosť, k nevýhodám patrí ich časová náročnosť (gravimetrická metóda až niekoľko hodín), potreba príprav a fakt, že sa jedná o deštruktívne metódy. Nie sú vhodné pre meranie nehomogénnych médií. [11]

3.2.2 Nepriame meranie vlhkosti

Z princípu priamych metód vyplýva, že neumožňujú kontinuálne meranie vlhkosti paliva, a preto je nutné použiť nepriame metódy merania. Najpoužívanejšia je metóda odporového merania vlhkosti elektrickým vlhkomerom. Princíp spočíva v meraní zmeny odporu (vodivosti) hrotovou sondou v závislosti na vlhkosti paliva (Obr. 10). Hodnoty odporu sú prepočítavané pomocou integrovaných charakteristík na absolútnu vlhkosť materiálu. Dôležitá je takisto teplotná kompenzácia počas merania. Presnosť merania sa pohybuje v intervale od $\pm 0,2$ až $\pm 0,5$ %. Meranie trvá niekoľko sekúnd po zavedení sondy do materiálu, ale kvôli bodovému meraniu, je nutnosť opakovania merania pre väčšie celky. [11]



Obr. 10) Ručný dotykový snímač vlhkosti s integrovanou hrotovou sondou [11]

Ďalším typom nepriamej metódy merania vlhkosti paliva je neutrónové meranie. Tento typ bezdotykových snímačov je založený na pružnom rozptyle rýchlych neutrónov na jadrách vodíku, ktoré najúčinnnejšie zo všetkých prvkov rozptyľujú a spomaľujú neutróny. Princíp spočíva v meraní intenzity neutrónového žiarenia po absorpcii meraným médiom. Odozva toku neutrónov zodpovedá celkovej objemovej vlhkosti. Táto metóda je vhodná najmä pre určenie vlhkosti sypkých materiálov a výhodou je meranie relatívne veľkých objemov (až $0,1 \text{ m}^3$). Merací prístroj sa skladá z vysokonapäťového zdroja, detektoru, zosilňovača a vyhodnocovacej jednotky. Prístroj je nutné kalibrovať.

Podobnou nepriamou metódou merania vlhkosti je mikrovlnná metóda, ktorá je založená na dipólovom správaní molekúl vody. Voda v meranom médiu interaguje

s harmonickým elektromagnetickým rezonančným poľom, ktoré je vytvárané mikrovlnným generátorom. Zmeny tohto poľa sú merané detektorom a následne vyhodnocované. Molekuly vody prítomné v póroch látky sa môžu natáčať v poli elektromagnetického mikrovlnného žiarenia veľmi ľahko, a preto voda tieto vlny intenzívne pohlcuje.

Ďalšou možnosťou merania vlhkosti je použitie kvantitatívnej analýzy pomocou blízkej infračervenej NIR (near-infrared) spektrometrie. Je to rýchla nedeštruktívna metóda chemickej analýzy, ktorá spočíva v energetických interakciách elektro- magnetického žiarenia s hmotou, kde energia NIR žiarenia môže zmeniť len vibračný alebo rotačný stav molekuly. Princíp metódy je založený na meraní odrazeného prípadne prejdeneho elektromagnetického žiarenia vzorkou. Z energie odrazeného svetla je možné vyhodnotiť informácie o chemickom zložení prvku. Táto metóda je vzhľadom k technickej zložitosti finančne náročná.

Medzi nepriame metódy merania vlhkosti paliva patrí aj nukleárna magnetická rezonancia (NMR). Atómy vodíka sa správajú ako malé magnety a v magnetickom poli sa zoradujú do určitého uhlu. Pohyb atómov z jedného usporiadania do iného uhlu vyžaduje energiu, ktorá závisí na sile magnetického poľa. Tento pohyb je zaznamenávaný pomocou NMR spektroskopie, z ktorej sa vyhodnocuje prítomnosť vodíka vo vzorke. Merané médium nesmie obsahovať feromagnetické materiály, pretože by mohli poškodiť súčasti prístroja. Taktiež je nutnosť kalibrácie meracieho zariadenia. [11]

4 VELIČINY PROCESU SPAĽOVANIA

Proces spaľovania je možné regulovať vzhľadom na určité požiadavky. Legislatívne musí výrobca splniť stanovené limity emisií a účinnosti spaľovacieho zariadenia určitého výkonu. Z toho dôvodu je nutné okrem veličín paliva monitorovať aj veličiny týkajúce sa procesu spaľovania a okolia spaľovacieho zariadenia. V rámci procesu spaľovania je dôležité monitorovať a riadiť:

- Prívod a odvod vzduchu
- Emisné zloženie spalín
- Prietok vody vo vodnom okruhu
- Teploty

4.1 Monitorovanie a riadenie prívodu vzduchu a odvodu spalín

Rozdelenie spaľovacích zariadení môže byť podľa viacerých hľadísk, a to na tie, ktoré ovplyvňujú prívod vzduchu, predanie tepla a následne odvod spalín. Kvalita spaľovacieho procesu závisí od množstva privedeného vzduchu, respektíve kyslíku. Pre dosiahnutie požadovanej hodnoty koncentrácie kyslíka v spaľovacej komore je nutná regulácia prísunu vzduchu. Podľa prívodu vzduchu sa delia zariadenia na otvorené a uzavreté. Otvorené zariadenia majú prívod vzduchu z miestnosti, v ktorej sa nachádzajú. Do uzavretých zariadení je privádzaný vzduch priechodom z vonkajších priestorov. Vzduch môže byť v oboch prípadoch privádzaný prirodzene ťahom zariadenia, alebo nútene pretlakom alebo podtlakom ventilátora. Pre nútené vytvorenie podtlaku sa používajú spalínové odťahové ventilátory. Vzduch je privádzaný do spaľovacieho zariadenia na viacerých miestach. Typické prívody vzduchu sa nazývajú primárny, sekundárny prípadne terciárny. Primárny vzduch sa privádza do spodnej časti ohniska a slúži hlavne na rozhorenie paliva, preto je vhodné regulovať prísun tohto vzduchu vzhľadom na dodávku paliva. Po čase je nutné obmedziť prísun primárneho vzduchu, inak by bolo horenie príliš intenzívne. Sekundárny vzduch sa privádza zvrchu a vtláča spaliny späť do ohniska a slúži tak na úsporu paliva. Prísun je regulovaný vzhľadom na koncentráciu kyslíka v spaľovacej komore. Je možné použitie aj prívodu terciárneho vzduchu zo zadnej steny ohniska, ktorý tiež zefektívni spaľovací proces.

Podľa tlaku v spaľovacej komore a vplyvu komína na spaľovanie v spaľovacom zariadení sa delia tieto zariadenia na podtlakové, pretlakové alebo atmosférické. Prieduchy na odvod spalín sa nazývajú komíny alebo dymovody. Tie môžu byť samostatné pre každé zariadenie, alebo spoločné. Podľa tlakových podmienok sa delia komíny na podtlakové s prirodzeným alebo umelým ťahom a pretlakové komíny. [1]

4.1.1 Monitorovanie a riadenie tlaku

Pre proces spaľovania je dôležité meranie a riadenie tlaku na viacerých miestach spaľovacieho zariadenia. Zmena tlaku nastane prirodzene počas procesu spaľovania.

Zvýšením teploty v uzavretej spaľovacej komore sa zvýši tlak. Pre vytvorenie podtlaku alebo pretlaku v častiach zariadenia sa používajú ventilátory. Ventilátory v potrubí alebo komíne je možné regulovať otáčkami. Súčasťou potrubia sú aj polohovateľné dymové klapky. Tieto klapky sú ovládané pohonmi a okrem funkcie akčného člena v regulačnom obvode slúžia na uzavretie dymovodu v dobe mimo prevádzky spaľovacieho zariadenia.

Tlakomerom je monitorovaný absolútny tlak, ktorý sa vzťahuje k nulovému tlaku, prípadne pretlak alebo podtlak, vzťahujúci sa k atmosférickému tlaku. Rozdielom dvoch tlakov je možné monitorovať relatívny tlak. Existuje niekoľko druhov tlakomerov, ktoré možno použiť v aplikácii spaľovacieho zariadenia:

- Kvapalinové
- Deformačné
- Elektronické

Kvapalinové tlakomery využívajú princíp silovej rovnováhy, medzi meraným tlakom a hydrostatickým tlakom kvapalinového stĺpca v tlakomeri. Používajú sa na meranie atmosférického tlaku, pretlaku, podtlaku ale taktiež aj na meranie tlakovej diferencie. Presnosť merania je daná konštrukciou tlakomeru a použitou kvapalinou. Najčastejšie je to voda, ortuť, alkohol, toluén alebo tetrachlórmetán. Tento typ tlakomeru je ovplyvňovaný vonkajšou teplotou, ktorá sa prejavuje na rozťažnosti materiálu a kapilárnymi javmi.

Deformačné tlakomery prevádzajú pôsobenie tlaku na posuv alebo uhol natočenia. Sú to mechanické systémy typu pružná trubica, membrána, kruhová váha alebo vlnovec. Zmeny tvaru deformačného člena sa snímajú elektrickým senzorom na princípe zmeny elektrického odporu, kapacity alebo indukčnosti. V prípade membrány sa používa aj tenzometrický alebo piezoelektrický princíp.

Elektronické tlakomery sú senzory, ktoré prevádzajú vonkajší tlakový podnet na elektrický signál. Prevedenia snímačov používajú mechanický alebo elektronický deformačný člen. Elektronické tlakomery, sú často vybavené vyhodnocovacou jednotkou, ktoré umožňujú základnú diagnostiku senzoru a prevodníku, digitalizáciu signálu, riadenie meracieho algoritmu, úpravu charakteristiky senzoru a prevodníku, komunikáciu s nadradenou jednotkou, automatickú kalibráciu a korekciu chýb. [1] [10]

4.1.2 Určovanie tmavosti dymu

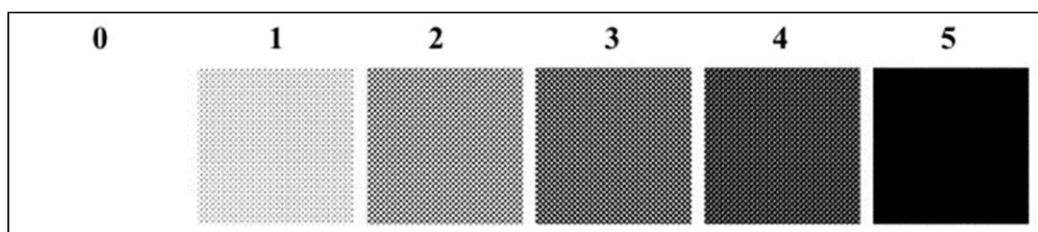
Kvalitu spaľovacieho procesu je možné orientačne určiť aj podľa tmavosti dymu. Tmavosť dymu je optická vlastnosť, ktorá je vyvolaná pohlcovaním svetla v dymovom prúde vystupujúcom z komína. Podstatná je najvyššia prípustná hodnota tmavosti dymu, ktorá sa vyjadruje v stupňoch podľa Ringelmannu (0-5) alebo v stupňoch podľa Bacharacha (0-9), prípadne meraním priehľadnosti (opacity) v dymovode, ktorá je udávaná v percentách. [2]

Legislatíva určuje, že podľa §10 vyhlášky č. 415/2012 Sb. je možné použiť k orientačnému určeniu tmavosti dymu Ringelmannovu metódu. Táto metóda spočíva v porovnávaní tmavosti dymového prúdu vychádzajúceho z komína s Ringelmannovou

stupnicou ľudským zrakom. Tmavosť zafarbenia dymu približne odpovedá koncentrácii sadzí, popolu a iných častíc. Ringelmannova stupnica (Obr. 11) pozostáva zo šiestich štvorcových polí, v ktorých sa nachádza pravouhlá sieť čiernych čiar určitej hrúbky. Hustoty siete na bielom podklade odpovedá určitému percentu čiernej farby na bielom podklade. Rozlišuje sa 6 Ringelmannových stupňov:

- Stupeň 0 – čisto biele pole s definovanou odrazivosťou svetla 80%
- Stupeň 1 – odpovedá 20% čiernej farby na bielom podklade
- Stupeň 2 – odpovedá 40% čiernej farby na bielom podklade
- Stupeň 3 – odpovedá 60% čiernej farby na bielom podklade
- Stupeň 4 – odpovedá 80% čiernej farby na bielom podklade
- Stupeň 5 – odpovedá 100% čiernej farby na bielom podklade a overuje optické vlastnosti Ringelmannovej stupnice (čierna farba použitá na tlač stupnice musí mať 5% odrazivosť svetla)

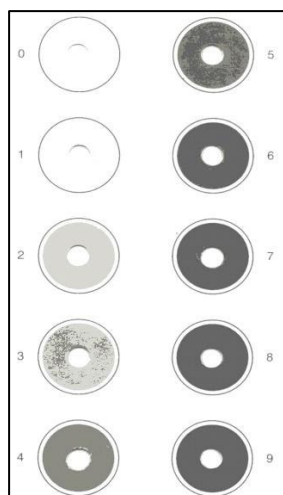
Meranie tmavosti dymu pomocou overenej Ringelmannovej stupnice prebieha zo vzdialenosti 150 až 400 m od pozorovaného komínu. Smer dymového prúdu má byť približne v pravom uhle na smer pozorovania. Pozadie dymu tvorí rozptýlené denné svetlo oblohy. Pozorovanie nie je možné uskutočniť proti slnku, proti zástavbe alebo okolitému terénu. Počas merania drží pozorovateľ Ringelmannovu stupnicu tak, že sieť jednotlivých polí sa umiestni k dymu v mieste výstupu komína. Dĺžka odčítania zo stupnice trvá 5 sekúnd a uskutočňuje sa 30-krát v pravidelných pol minútových intervaloch. Meranie je vyhodnotené priemerom tmavostí z tridsiatich odčítaných hodnôt. Nevýhodou tejto metódy je subjektívnosť pozorovateľa a taktiež možnosť merania len za určitých svetelných a poveternostných podmienok. [1] [2]



Obr. 11) Ringelmannova stupnica tmavosti dymu [2]

Monitorovanie tmavosti dymu Bacharachovou metódou spočíva v porovnávaní kruhovej farebnej škvrny, ktorá je získaná presiaknutím predpísaného množstva dymových plynov cez filtračný papier, so štandardnými škvrnami Bacharachovej stupnice. Bacharachova stupnica (Obr. 12) pozostáva z desiatich stupňov (0 - 9). Tmavosť zafarbenia dymu približne odpovedá koncentrácii sadzí, popolu a iných častí.

Meracia odberová sonda pozostáva z filtračného papiera, ktorý sa nachádza v odsávacej pumpke. Pumpou sa nasaje predpísané množstvo vzorku dymu z hlavného prúdu spalín v dymovode a následne sa porovnáva s Bacharachovou stupnicou. Počas merania sa uskutočňujú tri odbery v pravidelných 5 minútových intervaloch. Každé meranie sa hodnotí samostatne. [2]



Obr. 12) Bacharachova stupnica tmavosti dymu [2]

4.2 Monitorovanie zloženia plynu

Pre proces spaľovania je potrebné z legislatívneho hľadiska monitorovanie zloženia vstupných plynov (vzduch) a výstupných plynov (spaliny) obsahujúce emisie. V dnešnej dobe je všeobecne používaných niekoľko metód pre meranie zloženia a vlastností plynov. Je potrebné rozlíšiť rozdiel medzi kvalitatívnou a kvantitatívnou analýzou plynu. Kvalitatívna analýza identifikuje konkrétne prvkové, molekulové a iónové zloženie plynu a kvantitatívna jeho množstvo, koncentráciu alebo obsah danej zložky vo vzorke.

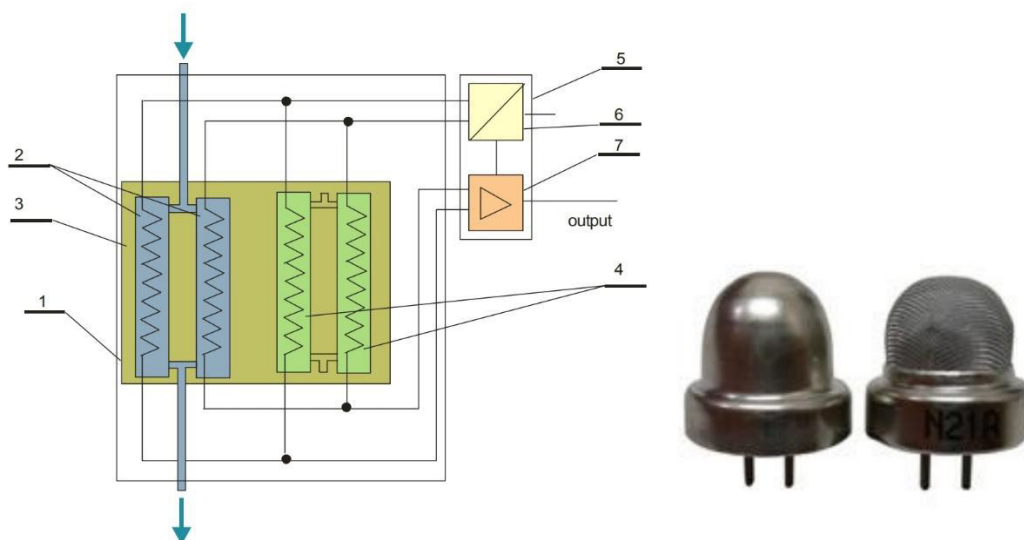
Zariadenia na snímanie a analýzu plynov využívajú metódy tepelnej vodivosti, spektrálnej analýzy, katalytického spaľovania, paramagnetické metódy, meranie vlhkosti vzduchu alebo sú to priemyselné chromatografy. Pri meraní zloženia a vlastností plynov sa využívajú chemické a fyzikálne princípy. V prípade chemických sa jedná o vzájomné pôsobenie častíc meranej látky a senzoru. S ich chemickou premenou (reakciou), dochádza k zmenám látky, pri čom sa meria významná zmena fyzikálnej veličiny. U fyzikálnych princípoch nedochádza k zmenám druhu látky, ale využíva sa len zmena niektorej fyzikálnej veličiny meranej látky. Meranie emisií je možné uskutočniť odoberaním vzorky plynu odsávaním z prúdu alebo meraním priamo v prúde. V praxi sa používajú komplexné analyzátory emisií, ktoré pozostávajú z viacerých typov snímačov pre rôzne druhy plynov. [8] [10]

4.2.1 Meranie na základe tepelnej vodivosti plynov

Pomocou tepelnej vodivosti plynov je možné analyzovať kvantitatívne zloženie zmesi plynov. Tieto senzory sú označované skratkou TCD (Thermal Conductivity Detector). Veličiny sú merané v percentách. Na Obr. 13 je zobrazený TCD snímač (1), ktorý pozostáva z meracej komory (2) pre meraný plyn a referenčnej komory (4) pre porovnávací plyn známeho zloženia. V komorách sa nachádza odporový drôt, ktorý slúži súčasne aj ako snímač teploty. Obe komory sú umiestnené v bloku (3), ktorý je vyrobený z materiálu s konštantným súčiniteľom tepelnej vodivosti. Drôt sa ohrieva elektrickým

výkonom na konštantnú teplotu z intervalu 50 – 200 °C. Snímač je pripojený k vyhodnocovacej jednotke (5), ktorá pozostáva z napájania (6) a zosilňovača (7). Tento typ snímačov sa taktiež vyrába v mikroelektronickom prevedení s polovodičovou technológiou.

Medzi výhody týchto snímačov patrí rýchla odozva, lacné prevedenie a sú vhodné pre binárne zmesi. Sú vysoko citlivé pre látky s vyššou tepelnou vodivosťou (napr. H₂, CH₄). Nevýhodou TCD snímačov je nemožnosť použitia pre viacložkové plyny a ich citlivosť na zmeny teploty okolia. Plyny s relatívnou tepelnou vodivosťou blízke 1 sú nemerateľné (CO, O₂, N₂,...) a plyny s nižšou tepelnou vodivosťou než vzduch spôsobujú interferencie. [10]



Obr. 13) Schéma snímača emisií metódou tepelnej vodivosti a prevedenie snímača [10]

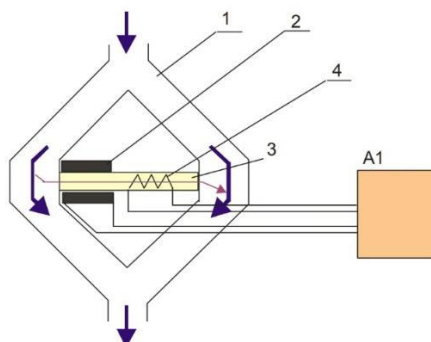
4.2.2 Meranie na základe paramagnetického princípu

Paramagnetické látky (napr. O₂, NO_x) sa stávajú magnetické v prítomnosti vonkajšieho magnetického poľa. Na základe rôznej magnetickej susceptibility, je možné rozlíšiť plyny v meranom médiu. Existujú dve metódy vyhodnocovania množstva plynu, a to priame meranie silového účinku alebo termomagnetická metóda.

Princíp merania silového účinku spočíva vo vytvorení magnetického poľa v snímači trvalým magnetom alebo elektromagnetom. Plyn, ktorý vstupuje do prostredia magnetov, vytvára vplyvom obsahujúcich paramagnetických látok moment na teliesko snímača, ktorý sa následne vyhodnocuje. Tento snímač vyžaduje teplotnú kompenzáciu a čistotu meraného plynu.

Snímač ktorý využíva termomagnetickú metódu, tzv. prídavného prúdenia, je zobrazený na Obr. 14. Tento senzor obsahuje dvojité kruhovú komoru (1) s priečnym prepojením (3), kde sa nachádza magnet (2), ktorý je napájaný prevodníkom (A1), a termoelektrický prietokomer (4). Ak plyn neobsahuje paramagnetické zložky, tak prúdi len oboma polovicami komory a vystupuje zo snímača. V prípade prítomnosti paramagnetického plynu je tento plyn vťahovaný do priečneho prepojenia, kde vzniká

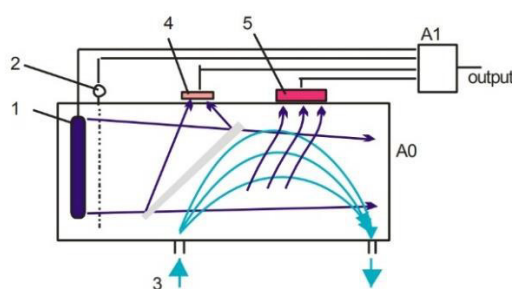
prídavné prúdenie (magnetický vietor), ktoré je merané termoelektrickým prietokomerom. Veľkosť prietoku priečného prúdenia je mierou množstva paramagnetického plynu. Termomagnetický analyzátor je závislý na atmosférickom tlaku a na teplote okolia. Snímače sú vhodné na použitie merania koncentrácie kyslíka. [10]



Obr. 14) Snímač s paramagnetickým princípom merania koncentrácie kyslíka [10]

4.2.3 Fotoionizačné, chemiluminiscenčné a plameňové ionizačné snímače

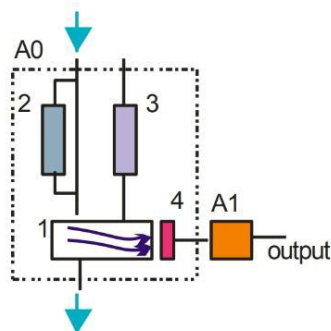
Fotoionizačná analýza využíva princíp ionizácie plynu v UV oblasti. Táto metóda je veľmi citlivá a vhodná na meranie koncentrácie uhlíkovodíku od C6 až C9, prchavých organických zlúčenín, označovaných ako VOC (Volatile Organic Compound), H_2 , H_2S a iných toxických plynov. Schéma fotoionizačného PID snímača (photoionisation detector) je zobrazená na Obr. 15. Snímač PID (A0) pozostáva zo zdroja UV žiarenia (1), ktoré je usmerňované mriežkou (2). Elektrón z neutrálne nabitej molekuly plynu je premiestňovaný pomocou elektroluminiscenčnej energie. Väčšie alebo reaktívnejšie molekuly majú nižšiu ionizačnú energiu než menšie nereaktívne molekuly a sú ľahšie merateľné. Intenzita UV žiarenia je meraná senzorom (4). Vstupujúci plyn do komory (3) vytvára elektroluminiscenciu, ktorá je snímaná fotonásobičom (5). Koncentráciu plynov v zmesi vyhodnocuje vyhodnocovacia jednotka (A1). Výhodou PID detektorov je vysoká citlivosť, rýchlosť odozvy, presnosť aj pri nízkych koncentráciách a možnosť merania širokého spektra látok. Nevýhodou je nízka selektivita pre väčšinu zlúčenín. [10]



Obr. 15) Schéma PID snímača [10]

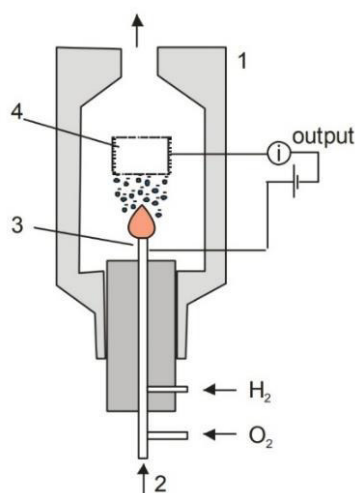
Snímače založené na chemiluminiscenčnom princípe využívajú ionizáciu plynu pomocou chemickej reakcie za vzniku látok, ktoré sú luminiscenčné. Tieto senzory sú vhodné na meranie koncentrácie plynov NO_x . Molekuly dusíka sú excitované ozónom a následne dochádza pri prechode z excitovaného do základného stavu k uvoľneniu takzvaného

chemiluminiscenčného žiarenia. Schéma ionizačného snímača je zobrazená na Obr. 16. Tento typ snímača pozostáva z komory (1), konvertoru plynu (2), zdroja ozónu (3), fotonásobiča (4) a vyhodnocovacej jednotky (A1). [10]



Obr. 16) Schéma chemiluminiscenčného snímača [10]

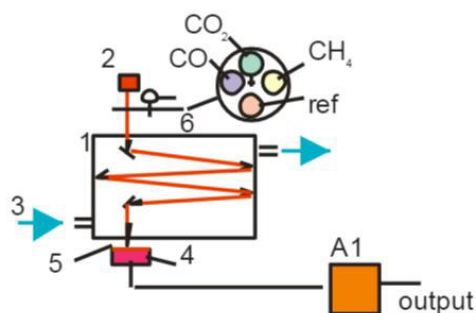
Podobný princíp využívajú aj plynové chromatografy. Súčasťou plynových chromatografov je fyzikálno-chemický FID snímač, tzv. plameňový ionizačný detektor (Flame Ionization Detector). Meraný plyn je spaľovaný s privádzaným vodíkom a okysličovadlom za vzniku ionizačného prúdu vodíkového plameňa v dôsledku prítomnosti eluovanej zložky meraného plynu. Vzniknuté ionizované častice následne zaplňajú priestor medzi elektródami a menia jeho odpor, ktorý sa vyhodnocuje. Schéma FID snímača je zobrazená na Obr. 17. Senzor pozostáva z telesa snímača (1), v ktorom sa spaľuje vodík s kyslíkom a meraným plynom (2). Pri spaľovaní (3) vznikajú katióny CHO^+ a voľné elektróny. Tieto elektróny spôsobujú zmeny ionizačného prúdu medzi elektródami (4). FID snímač reaguje s takmer všetkými organickými zlúčeninami, ktoré obsahujú v molekule uhlík (napr. CO , CO_2). FID snímač má najväčší lineárny rozsah z bežne používaných detektorov. [10]



Obr. 17) Schéma FID snímača [10]

4.2.4 Meranie spektrálnou analýzou

Spektrálna analýza umožňuje meranie zloženia a vlastností plynov na základe zmien emisie a absorpcie elektromagnetického žiarenia. Absorpcia žiarenia v neionizovanom plyne je v pásme vlnovej dĺžky, ktorú je plyn schopný emitovať v ionizovanom stave. Absorpčné pásma väčšiny plynov sa skladajú z úzkych pásov prevažne ultrafialovej a infračervenej oblasti. V pásme viditeľnej oblasti absorbuje viditeľnú oblasť spektra len malý počet plynov. Schéma analyzátoru využívajúceho princíp absorpcie elektromagnetického žiarenia je na Obr. 18. Do komory (1) sú vedené lúče žiarenia odpovedajúce vstupnej intenzite, ktoré sa následne viacnásobne odrážajú na stenách komory. Zdrojom (2) tohto žiarenia sú LED diódy alebo špeciálne výbojky. Žiadané vlnové dĺžky žiarenia sú dosiahnuté pomocou otočnej štrbiny (6). Intenzita žiarenia sa postupne znižuje a následne postupuje cez filter (5) do senzoru žiarenia (4). Signály zo senzoru sú vyhodnocované vo vyhodnocovacej jednotke (A1). [10]



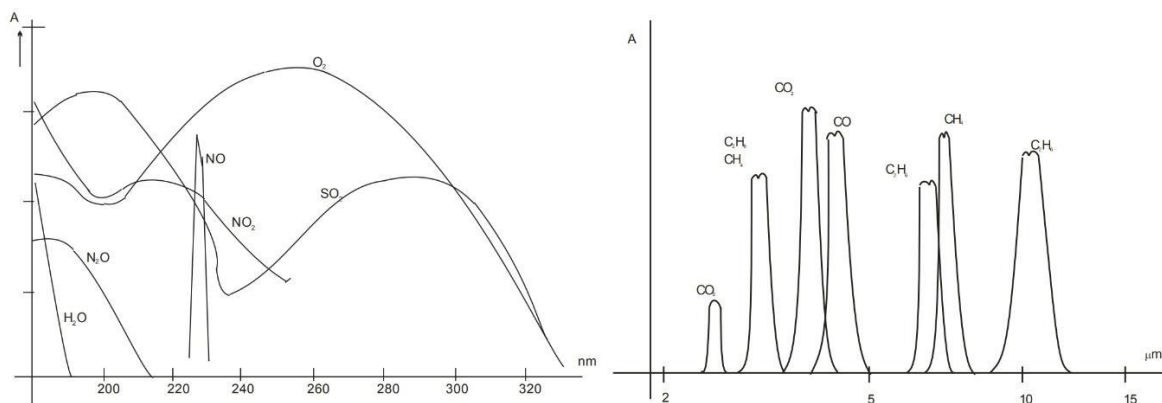
Obr. 18) Absorpcia elektromagnetického žiarenia - snímač [10]

Snímače fungujú na princípe analýzy nedisperzného (NDIR) alebo disperzného (DIR) infračerveného žiarenia. Princíp oboch metód je zobrazený na Obr. 19, kde je zobrazený zdroj žiarenia (1), ktoré smeruje v prípade NDIR priamo do komory (2) a v prípade DIR sa žiarenie rozptyľuje cez hranol na čiasťkové vlnové dĺžky. Ďalej pokračuje žiarenie v oboch prípadoch cez filter (3) na senzor (4). [10]



Obr. 19) Schéma absorpcie infračerveného žiarenia: a) NDIR b) DIR [10]

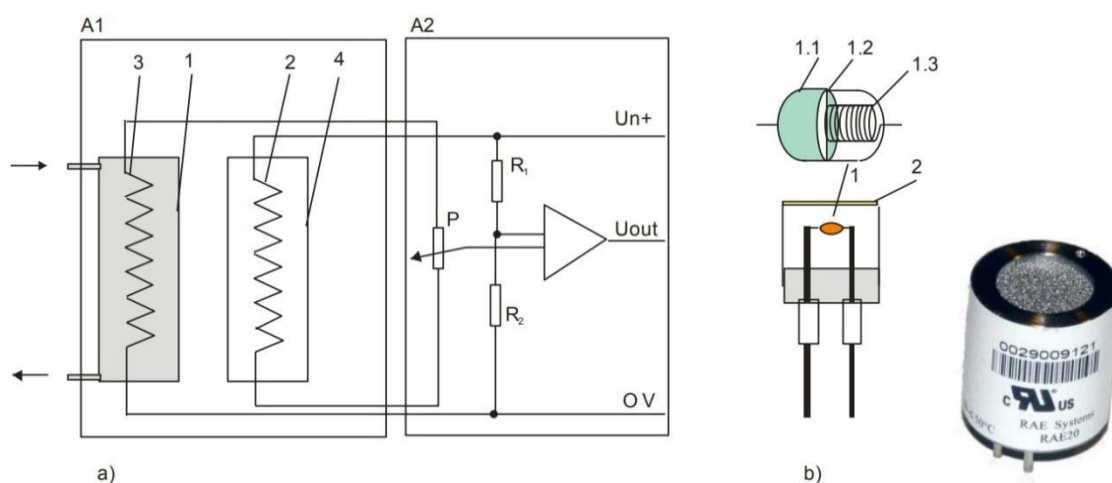
Metóda NDIR využíva fakt, že určité molekuly plynov absorbujú prechádzajúce žiarenie len určitej vlnovej dĺžky, a tak je možné pozorovať spektrálne čiary. Vhodnou voľbou zdroja žiarenia (UV, IR, viditeľné svetlo) a filtrov na snímači umožňuje táto metóda s vysokou selektivitou určovať a merať kvalitatívne zloženie plynu v zmesi (Obr. 20). Niektoré prístroje majú zdroj žiarenia v širokom pásme vlnových dĺžok. Najviac limitujúcim faktorom NDIR je nemožnosť použitia na meranie koncentrácie H_2 . [10]



Obr. 20) Grafy závislosti absorpcie elektromagnetického žiarenia na vlnovej dĺžke oblasti UV (vľavo) a IR (vpravo) pre niektoré plyny [10]

4.2.5 Meranie katalytickým spaľovaním a senzory CHEMFET

Snímače, ktoré využívajú princíp katalytického spaľovania zmesi horľavých plynov na rozžhavenom vodiči. Prevedenie týchto snímačov môže byť podobné TCD snímaču s meracími komorami a vyhodnocovacou elektronikou (Obr. 21a) alebo ako kompaktný senzor, nazývaný pelistor (Obr. 21b). [10]



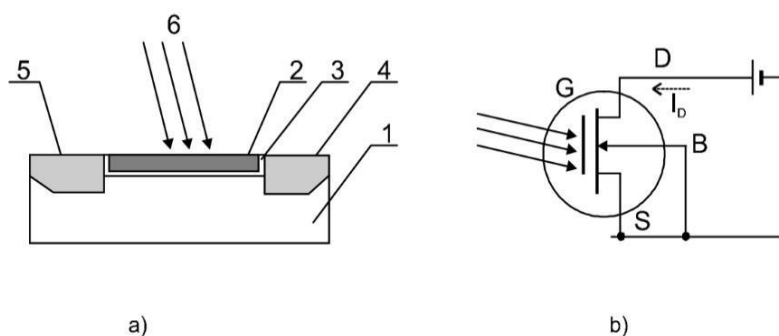
Obr. 21) Snímač s katalytickým spaľovaním: a) klasické prevedenie b) pelistor [10]

Klasické prevedenie meracieho zariadenia (Obr. 21a) pozostáva zo snímača (A1), v ktorom sa nachádza prvá komora (1) s meracím vláknom (3) určeným pre meraný plyn a druhá komora (4) s meracím vláknom (2), ktorá je naplnená referenčným plynom. Vlákno je vyrobené z čistej platiny alebo jej zliatiny, ktorá pôsobí ako katalyzátor pri oxidácii prvkov. Vlákno je rozžhavené na určitú teplotu podľa druhu meraného plynu v rozsahu 200 - 800 °C. Vlákna menia súčasne podľa veľkosti ohrevu (koncentrácie oxidovaného plynu) elektrický odpor. Meranie odporu je následne vyhodnotené vo vyhodnocovacej jednotke (A2). Mostík jednotky je vytvorený vláknami (2,3) s odpormi R_1 , R_2 a potenciometrom P. Rozdiel na diagonále je zosilnený na výstupný signál U_{out} .

Meracie zariadenie pelistor (Obr. 21b) je kompaktné prevedenie katalytického snímača zloženia plynu. V komore sa nachádza perlička (1), na ktorú vstupuje meraný plyn cez sieťku (2). Perlička pozostáva z hmoty katalyzátoru (1.1), oddeľovacej keramiky (1.2) a žhavého vlákna (1.3). Meraný plyn sa okysličuje, čo spôsobuje vznik tepla a následnú zmenu elektrického odporu žhavého vlákna. Tieto zmeny sú mierou koncentrácie plynu. Po uplatňovaní technológie MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) sa nachádza snímač v puzdre integrovaného obvodu. Na kremíkovom substráte sa nachádzajú plochy katalyzátoru, vyhrievacie časti, snímanie teploty a prívod plynu. Existuje variant, ktorý pozostáva z poľa pelistorov na vyhodnocovanie viacerých plynov s využitím neurónových sietí.

Snímače s katalytickým princípom patria k lacným a stabilným senzorom s vysokou rýchlosťou odozvy a lineárnou závislosťou. Nie je však možné selektívne rozlíšiť jednotlivé horľavé plyny prítomné v niekoľkých zložkových zmesiach, ale ide o selektivitu senzoru vzhľadom k obsahu horľavých plynov a pár vo vzduchu. Snímač je vždy potrebné kalibrovať pre danú konkrétnu látku, väčšinou sa jedná o hodnoty dolnej medze výbušnosti (LEL – Low Explosive Limit). Kalibrácia prebieha na určitý plyn, pre ostatné sa používajú korekčné koeficienty. Parazitné vplyvy pôsobením škodlivých plynov, inhibítorov (SO_2) a katalytických jedov spôsobujú starnutie katalyzátoru. [10]

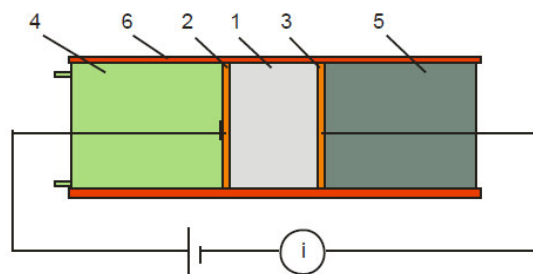
Na meranie zloženia plynov sa využívajú aj tranzistory CHEMFET, kde medzi hradlom a substrátom vzniká dôsledkom adsorpcie niektorých plynov potenciál. Štruktúra tranzistoru je zobrazená na Obr. 22a. Základ senzoru je tvorený substrátom (1), ktorý je z kremíkového polovodičového materiálu s vodivosťou P. Hradlo (2) je kovová riadiaca elektróda vyrobená z paládia, ktorá je citlivá na vodík, prípadne na plyny schopné odštiepiť vodík (napr. NH_3 , H_2S). Hradlo je izolované od substrátu kolektoru (4) a emitoru (5) vrstvou (3), ktorá je najčastejšie vyrobená z SiO_2 , TiO_2 alebo ZnO . Kolektor a emitor je tvorený polovodičom s vodivosťou typu N. Meraný plyn (6) je v kontakte s hradlom a v prípade, že obsahuje molekulu H_2 , rozkladá sa na povrchu Pd elektródy. Počas tohto procesu vznikajú disociované atómy, ktoré sa adsorbujú a difundujú až na rozhranie hradlo – izolant, kde vytvoria dipólovú vrstvu, ktorá mení potenciál prechodu a vodivosť FET štruktúry. Hradlo z kovu Pd pôsobí taktiež ako katalyzátor oxidačných plynov (napr. O_2), pri vyššej teplote aj redukčným plynom (napr. CO), a tým ovplyvňuje vodivosť senzoru. [8] [10]



Obr. 22) Senzor CHEMFET a) štruktúra b) schéma zapojenia [10]

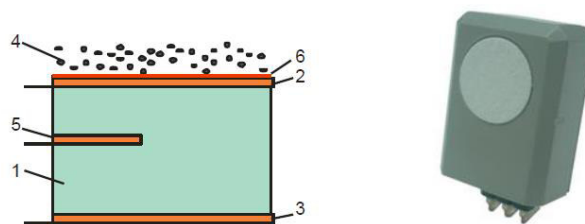
4.2.6 Snímače s pevným elektrolytom a elektrochemické snímače

Snímač s pevným elektrolytom využíva pohyb iónov v pevných elektrolytoch, kde na rozdiel od kvapalných elektrolytov, je možný prenos len jedného druhu iónov, teda buď len katiónov alebo aniónov. Za prítomnosti kyslíku v elektrolyte medzi platinovými elektródami dochádza ku elektrochemickej reakcii a na elektródach tak vzniká určité napätie. Snímač sa používa na zisťovanie prebytku kyslíku v spalínach z kotlov alebo vo výfukových plynoch. Rovnaký princíp sa využíva v Lambda sonde pre detekciu a riadenie spaľovania. Schéma Lambda sondy je zobrazená na Obr. 23. Pevný elektrolyt (1) sa nachádza medzi dvoma platinovými elektródami (2, 3), ktoré sú medzi meracou komorou (4) a referenčnou komorou (5). Požadovaná teplota je zabezpečená ohrievacou vrstvou snímača (6). Elektródy sú pripojené k zdroju napätia. Zmena prúdu v obvode je mierou koncentrácie meraného plynu. [10]



Obr. 23) Schéma snímača s pevným elektrolytom (Lambda sonda) [10]

Podobný princíp využívajú aj elektrochemické snímače. Elektrochemické senzory sú založené na princípe detekcie plynov na základe elektrolytickej premeny, konkrétne oxidácie na kovovom katalyzátore. Tento princíp je známy z elektrochemických článkov, kde v elektrolyte medzi anódou a katódou vzniká elektrické napätie. Citlivosť týchto snímačov je vysoká v intervale 3-30 ppm (parts per milion) a sú schopné merať oxidy (O_2 , NO_x , CO_x), H_2S , organické pary alkoholov, aldehydov alebo ketónov. Najčastejšie sa však využívajú na meranie obsahu kyslíka. Ten sa elektrochemickou reakciou premieňa na elektrický prúd, ktorého veľkosť je úmerná koncentrácii kyslíka v meranej zmesi plynov. Elektrochemický snímač (Obr. 24) sa skladá z olovenej, striebornej alebo platínovej anódy (2) a zlatej katódy (3), ktoré sú ponorené v elektrolyte (1) na báze kyseliny octovej. Na anódu, ktorá slúži ako snímacia elektróda, pôsobí cez membránu (6) meraný plyn (4) a porovnáva sa s referenčnou elektródou (5). [8] [10]

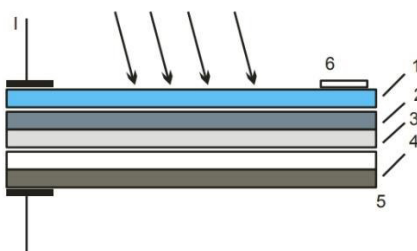


Obr. 24) Schéma elektrolytického snímača (vľavo) a jeho prevedenie (vpravo) [10]

4.2.7 Polovodičový oxidačný snímač

Polovodičové oxidačné snímače sa používajú na detekciu oxidačných alebo redukčných plynov pomocou citlivej plochy na povrchu alebo celého aktívneho objemu. Bežné prevedenie senzorov je s povrchovým snímaním, kde meraciu plochu tvorí slabý oxid kovu (napr. ZrO_2 , SnO_2 , TiO_2), ktorá je okolo jemných ohrievacích cievok a absorbuje molekuly kyslíka. Po ohriatí plôch dochádza na povrchu k reakcii aktivovaného kyslíka s molekulami oxidačných alebo redukčných plynov a nastáva zmena elektrickej vodivosti oxidovej vrstvy. Citlivosť oxidačného snímača je v rozsahu 20 - 100 ppm. V prípade merania redukčného plynu (napr. H_2 , CH_4 , CO , H_2S), predstavuje tento plyn donor elektrónov pre polovodič, a zvyšuje tak vodivosť jeho povrchovej vrstvy. V opačnom prípade ak je plyn oxidačný (napr. O_2 , NO_2), sa jedná o akceptor elektrónov a vodivosť polovodiča sa znižuje.

Schéma oxidačného polovodičového snímača je na Obr. 25, kde je zobrazená citlivá vrstva (1), ktorá je v kontakte s meraným plynom. Táto vrstva je najčastejšie vyrobená z SnO_2 alebo ZnO s vodivosťou typu N. Ďalšími vrstvami sú vrstva SiO_2 (2), feritu (3) a vrstva RuO_2 (4). Poslednou vrstvou (5) je substrát a izolácia. Kontaktná vrstva (6) je zo zlata, rovnako ako aj prívody. Vrstvy snímača sú ohrievané na teplotu 200 až 450 °C. Snímač je napájaný konštantným jednosmerným napätím a podľa adsorpcie (viazania látky na inú látku) meraného plynu sa mení veľkosť prúdu. [10]



Obr. 25) Schéma polovodičového oxidačného snímača [10]

Snímač v prevedení s objemovou detekciou absorbuje (pohlčuje) meranú látku a mení stechiometrickú štruktúru kryštálovej mriežky podľa parciálneho tlaku (zloženia plynu), a tým sa určuje počet chýb v štruktúre. Ako citlivá vrstva sa používajú materiály z TiO_2 , BaTiO_3 alebo SrTiO_3 . Podmienkou je prevádzková teplota okolo 900 °C a prítomnosť kyslíka. V prípade nedostatku O_2 sa mení vodivosť senzoru. [10]

4.2.8 Chromatografické analyzátory

Chromatografická analýza je metóda, ktorá stanovuje kvalitatívne a kvantitatívne zloženie plynov jedným meracím prístrojom. Meraná vzorka musí byť najskôr upravená a následne prechádza chromatografickou kolónou, ktorá ju rozdelí na jednotlivé zložky a analyzuje vhodnými snímačmi.

Delenie plynnej zložky v kolóne využíva nasledujúce procesy:

- *Adsorpčný* – aktívna látka (adsorbent) je dávkovaná do vzorky meraného plynu a podľa druhu zložky plynu je daná adsorpcia a rýchlosť prechodu kolónou
- *Vytesňovací* – meraný plyn sa premýva s vytesňovacou tekutinou a podľa druhu zložky je daná adsorpcia
- *Termický* – adsorpcia sa uskutočňuje pomocou ohrevu plynu a aktívnej látky
- *Plyn - kvapalina* – interný nosič je zmáčaný tenkou vrstvou neprchavej zakotvenej fáze (parafín, silikónový olej)

Kolóny pre chromatografiu sú náplňové alebo kapilárne. Súbor snímačov má modulárnu konštrukciu s možnosťou umiestnenia jedného alebo viacerých snímačov súčasne. Snímače je taktiež možné jednoducho vymeniť. Pre plynovú chromatografiu sa využívajú kombinácie nasledujúcich snímačov:

- Teplotne vodivostný snímač – TCD (kap. 4.2.1)
- Fotoionizačný snímač – PID (kap. 4.2.3)
- Plameňový ionizačný snímač – FID (kap. 4.2.3)
- Termoionizačný selektívny snímač – TSD
- Héliový detektor – HeD
- Snímač elektrónového záchytu – ECD

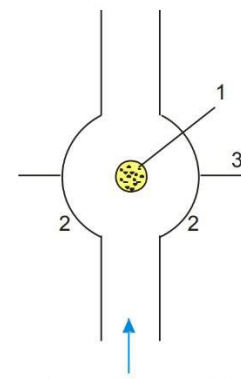
Termoionizačný selektívny snímač (Thermionic-Selective Detector) je modifikáciou FID snímača. Používa sa v prevedení detektoru s alkalickým kovom, označovaný ako AFID. Časť TCD snímača obsahujúca soľ (napr. síran sodný, chlorid draselný) je umiestnená v priestore horáku a vplyvom spalín organickej látky vznikajú zmeny ionizácie. Využíva sa najmä na detekciu dusíku a fosforu, pretože dochádza k selektívnej ionizácii organických zlúčenín obsahujúcich dusík alebo fosfor. [10]

Héliový detektor (HeD) využíva ionizáciu atómov hélia, ktoré sú ionizované do metastabilného stavu vysokého potenciálu. Snímač sa používa najmä na analýzu permanentných plynov (He, N, Ar, H).

Snímač elektrónového záchytu (Electron Capture Detector) spočíva v ionizácii nosného plynu (Ar alebo N) mäkkým beta žiarením (trícium alebo ^{63}Ni). Nízkym elektródovým potenciálom je možné zachytiť len prítomné elektróny ionizovaného stavu oboch plynov. Pri rekombinácii elektrónov s kladne nabitými časticami dochádza k zmenám hodnôt ionizačného prúdu. Schéma ECD snímača je zobrazená na Obr. 26. Meraný plyn prechádza okolo emitora (1) vytvoreného zdrojom beta žiarenia a v jeho blízkosti dochádza k zmenám ionizácie. Zmeny sú snímané kolektormi (2), ktoré sú napojené na vyhodnocovacie zariadenie vývodmi (3).

Chromatografy využívajú často prítomnosť ďalších prvkov ako sú systavy na riadenie teplôt vzoriek plynu, snímačov, prípadne regulátorov tlaku a prietoku. Signály zo snímačov sú vyhodnocované vyhodnocovacou jednotkou. Dôležitou súčasťou použitia chromatografu je príprava vzorky, pretože pre správnu funkciu analýzy je potrebné, aby

mali vzorky správnu teplotu, vlhkosť, prietok a tlak. Priemyslové chromatografy sú na rozdiel od laboratórnych zariadení robustné a majú automatickú prevádzku. [8] [10]



Obr. 26) Schéma ECD snímača [10]

4.3 Monitorovanie a riadenie prietoku vody vodného okruhu

Spaľovacie zariadenie môže byť umiestnené buď priamo v miestnosti, kde teplo predáva priamo do svojho okolia alebo mimo obytné priestory. Vykurovacie zariadenie v tomto prípade predáva časť tepla médiu, ktoré rozvádza teplo do obytných priestorov. Ako prenosné médium sa používa voda, ktorá je po ohriatí rozvádzaná pomocou čerpadiel potrubím. Dôležitou veličinou pri rozvoде vody je prietok vody, ktorý sa zisťuje meraním okamžitého prípadne celkového hmotnostného alebo objemového toku média. Všeobecne sa používajú prietokomery na meranie prietoku v uzavretom potrubí alebo v otvorenom kanále. Existuje niekoľko typov princípov merania prietoku látky:

- Objemové (lopatkové, zubové,...)
- Prierezové (clona, dýza, Venturiho trubica, rýchlostná sonda,...)
- Plavákové
- Termoelektrické
- Indukčné
- Ultrazvukové
- Vírové
- Coriolisove hmotnostné

Použitie danej metódy závisí najmä od druhu tekutiny, jej viskozity, hustoty, teploty a tlaku. Tekutina je spoločné označenie pre kvapaliny, plyny a pary, no v tomto prípade je zameranie na kvapaliny. Prietokomery vyvolávajú v hydraulickom okruhu tlakovú stratu, ktorá je daná jeho hydraulickým odporom. Ďalším parametrom je hodnota časovej konštanty prietokomeru, ktorá udáva dynamické vlastnosti meraného systému. Najvýhodnejšie je použitie snímačov bez pohyblivých častí. [10]

Prietok vody je ovplyvnený aj tlakom vo vodnom okruhu, a preto je vhodné použiť snímač tlaku (kap. 4.1.1) na jeho monitorovanie. Na riadenie prietoku vykurovacích sústav pripojených k spaľovaciemu zariadeniu sa využívajú viaceré

hydraulické prvky. Najpoužívanéjšie sú klapky, regulačné ventily, automatické ventily riadené pohonmi, trojcestné zmiešavacie ventily, obehové čerpadlá s plynulou reguláciou otáčok a tepelné výmenníky. [1]

4.3.1 Objemové prietokomery

Meranie objemového prietoku je radené medzi absolútne meracie metódy. Vyznačujú sa dostatočnou presnosťou a schopnosťou udávať celkové množstvo tekutiny pretečené prietokomerom. Pre určenie okamžitého prietoku sa využíva časomerné zariadenie, alebo výpočtový mechanizmus. Prietokomery sa delia podľa typu merania veličiny na spojité (bubnové, rotačné piestové, lopatkové, oválne a ozubené kolesá) a nespojité (zvonový). Objemové meranie je založené na princípe merania presunu známeho čiastkového objemu zo vstupu prietokomeru na jeho výstup za jednotku času. Objemové prietokomery sú charakterizované rozdelením toku tekutiny na čiastkové objemy pomocou meracieho mechanizmu, napr. lopatkami turbíny, lopatkového kolesa, ozubení a podobne. Nevýhodou je použitie mechanických rotačných častí. Výhodou je jednoduchosť a možnosť merania bez pomocnej energie. Niektoré typy prietokomerov sa využívajú aj na dávkovanie kvapalín.

Bubnové prietokomery spočívajú v meraní objemu tekutiny pomocou odmerných komôr, ktoré rotujú po naplnení okolo osi. Rotačná časť je spojená s mechanickým počítadlom alebo je pripojený impulzný snímač na zaznamenávanie počtu rotácií. Rozsah merania je daný objemom komory.

Najjednoduchším a najlacnejším variantom prietokomeru je lopatkový. Používa sa pre čisté neviskózne kvapaliny do teploty 130 °C. Prietokomer pozostáva z komory a v jej strede je umiestnené lopatkové koleso, ktoré sa vplyvom prúdu kvapaliny otáča. Modifikáciou lopatkového prietokomeru je prietokomer s lopatkovým rotorom. Ten nepozostáva z komory, ale lopatkový rotor je priamo osadený do potrubia.

Výstupné signály objemových meradiel sú najčastejšie impulzné. Snímač stavu a polohy mení binárnu hodnotu pri priechode lopatky alebo zubu a tým je daný čiastkový objem priestoru medzi lopatkami alebo zubami. Ďalšia meraná veličina je perióda, respektíve frekvencia dvoch nasledujúcich impulzov. [10]

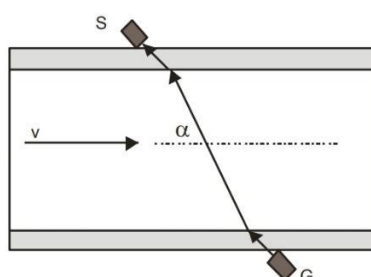
4.3.2 Prierezové a plavákové prietokomery

Prierezové meradlá prietoku využívajú princíp založený na Bernoulliho rovnici, kde mierou prietoku je zmena kinetickej energie v zúženom mieste potrubia (rýchlosť prúdenia), ktorá zodpovedá zmene potenciálnej energie (tlaková diferencia). Tento typ prietokomerov neobsahuje žiadne mechanické rotačné diely, a preto môžu byť preťažované. Podmienkou správnej funkčnosti je čistá fáza meraného média, ktorá sa nesmie pri zmene tlaku meniť (voda sa nesmie vyparovať alebo kondenzovať). Ako základné meracie prierezové prvky sa používajú clona a dýza (Venturiho dýza). Okrem základných prvkov sa používajú aj meradlá so špecifickými škrtiacimi prvkami (napr. rýchlostná sonda, Pitotova trubica).

Plavákové prietokomery pozostávajú z kužeľového telesa, ktoré sa nachádza v kužeľovej zvislej trubici, rozširujúcej sa smerom nahor. Prúd meraného média dvíha v smere zdola nahor kužeľové teleso (plavák), ktorého výška je úmerná rýchlosti prietoku. Snímanie polohy plaváku prebieha indukčným, kapacitným, fotoelektrickým alebo odporovým bezdotykovým senzorom. V praxi sa používajú ako limitné snímače prietoku. [10]

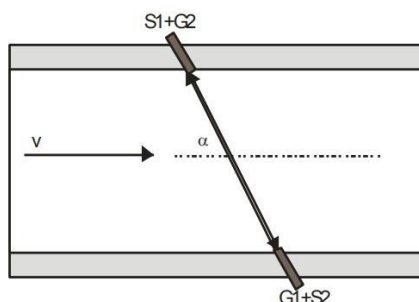
4.3.3 Ultrazvukové a indukčné prietokomery

Ultrazvukové prietokomery (Obr. 27) sa využívajú na bezdotykové meranie objemového prietoku kvapalín, rôzneho druhu (vodivé, nevodivé, agresívne, viskózne, výbušné,...). Prietokomer pozostáva z generátoru s vysielačom (G) a zo senzoru (S), ktorý slúži ako prijímač ultrazvuku. Snímač je pripevnený pevne na telese prietokomeru alebo je osadený na povrchu potrubia (Obr. 28). [10]



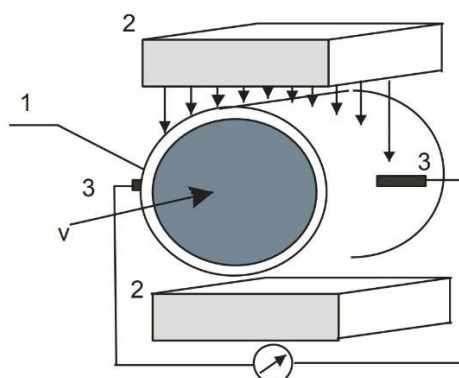
Obr. 27) Schéma ultrazvukového prietokomeru [10]

Princíp funkcie ultrazvukového prietokomeru spočíva v meraní zmeny rýchlosti šírenia ultrazvuku s frekvenciou 20 – 100 kHz v prúdiacej tekutine, alebo snímania času prechodu impulzového signálu, prípadne sú založené na princípe Dopplerovho javu. V prípade použitia širokopásmového prietokomeru sa využíva opakovaný odraz ultrazvuku v potrubí. Rýchlosť šírenia ultrazvuku je závislá na viacerých faktoroch, ako napríklad teplota, hustota, viskozita, a preto sa používa diferenčné zapojenie (Obr. 28) senzorov S a generátorov G na oboch stranách potrubia, ktoré vysielaajú striedavo impulzy ultrazvuku. Tieto prietokomery sa vyrábajú v menovitých priemeroch od 10 mm do 10 m a merajú rýchlosť prúdenia v rozsahu od 0,03 do 30 m/s, čo umožňuje meranie prietoku až 450 000 m³/h. [10]



Obr. 28) Diferenčné zapojenie ultrazvukového prietokomeru [10]

Indukčné prietokomery (Obr. 29) využívajú princíp Faradayovho zákona. Statické magnety (2) vytvárajú elektromagnetické pole, v ktorom je pohyb metalického vodiča nahradený prúdením kvapaliny v potrubí (1). Indukované napätie je zaznamenávané na elektródach (3). Budenie elektromagnetov môže spôsobovať rušenie na elektródach, preto sa indukované napätie sníma periodicky v časti periódy vypnutého budenia. Podmienkou správnej funkčnosti prietokomeru je merná vodivosť meranej kvapaliny väčšia ako $5 \cdot 10^{-6} \text{ S/m}$ a rýchlosť prúdenia väčšia ako 0,5 m/s. výhodou je, že meranie je nezávislé na viskozite, hustote, tlaku, teplote a zložení kvapaliny. Indukčné prietokomery majú taktiež malú tlakovú stratu a rýchlu odozvu až 1 ms. [10]



Obr. 29) Schéma indukčného prietokomeru [10]

4.4 Monitorovanie teploty

Teplota je v procese spaľovania jednou z významných veličín. Monitorovanie teploty rôznych častí spaľovacieho zariadenia je potrebné pre reguláciu a riadenie procesu spaľovania a taktiež pre bezpečnostnú funkciu. Na kompenzáciu viacerých zariadení komplexného riadiaceho systému a na výpočet určitých parametrov procesu spaľovania je nutné monitorovať teplotu okolia. Z bezpečnostného hľadiska sa monitoruje teplota paliva už v zásobníku prípadne na dopravníku, kvôli riziku zahorenia paliva. Na určenie účinnosti a výkonu spaľovacieho zariadenia je potrebné merať teploty spaľovacej komory, teploty vstupného a výstupného média a taktiež teploty spalín. Snímače teploty sa používajú na viacerých častiach spaľovacieho zariadenia, či už z informačného alebo bezpečnostného hľadiska. [1]

Meranie teploty môže byť dotykové alebo bezdotykové. Dotykové meranie teploty spočíva vo vnorení snímača do meraného prostredia alebo látky a teplota senzoru sa dorovnáva teplote okolitého prostredia. Na meranie hodnoteného objektu alebo látky sa využíva viacero typov senzorov založených na fyzikálnom princípe závislosti teploty na mechanických alebo elektrických zmenách. Typicky sa používajú dilatačné teplomery, ktoré pracujú na princípe rozťažnosti látok. Ďalším typom sú snímače, ktoré využívajú zmeny elektrických vlastností ako odpor, termoelektrické napätie alebo polovodičový efekt. Bezdotykové meranie teploty využíva princíp šírenia elektromagnetického žiarenia v infračervenej oblasti. [8] [10]

Okrem jednoduchých dilatačných teplomerov sa v praxi používajú odporové snímače teploty. Tieto dotykové senzory využívajú zmenu závislosti elektrického odporu na teplote. Materiál použitých snímačov určuje rozsah merania, presnosť a taktiež konštrukciu. Používajú sa kovové alebo polovodičové materiály. Najviac používané kovové materiály sú platina, nikel a molybdén. Označenie odporového snímača pozostáva z názvu použitého kovu a veľkosti odporu v ohmoch pri teplote 0°C (napr. Pt100, Pt1000, Ni1000). Okrem kovov sa využívajú aj polovodičové odporové snímače teploty termistory. Prevedenie termistorov je ako pozistor (PTC) s kladným teplotným koeficientom alebo ako negastor (NTC) so záporným teplotným koeficientom. Na rozdiel od kovových snímačov majú nelineárnu charakteristiku. Okrem termistorov existujú aj polovodičové monokryštalické snímače. Materiály použité na tieto snímače sú germánium a kremík.

Používanými snímačmi teploty sú taktiež termoelektrické snímače (termočlánky). Tieto senzory pozostávajú z dvoch rôznych kovov a využívajú princíp Seebeckovho javu, kde pri zahriatí dvoch rôznych kovov vzniká jednosmerné napätie na ich koncoch rozličnej teploty, ktoré je úmerné teplotnému rozdielu meraného a referenčného konca (Obr. 30). Prepojenie snímača a prevodníku je zabezpečené predlžovacím kompenzačným káblom, ktorý musí mať podobné termoelektrické vlastnosti ako použitý termočlánok. Tým sa eliminuje vznik parazitného napätia. Typy termočlánkov sú určené podľa materiálu, rozsahu a iných parametroch. Najpoužívanejšie termočlánky sú typu T, J, E alebo K. Výhodou termočlánkov je ich veľký teplotný rozsah. [8] [10]



Obr. 30) Schéma termočlánku [10]

Bezdotykové snímače sú založené na princípe vyžarovania elektromagnetického žiarenia telesa, ktoré je podľa Planckovho a Stephan Boltzmanovho zákona úmerné teplote povrchu telesa. Prístroje pre bezdotykové meranie teploty sú pyrometre a termovízne kamery (termokamery). Zariadenia pracujú v pásme infračerveného žiarenia. [10]

5 NÁVRH RIADENIA TESTOVACEJ SÚSTAVY TEPELNÝCH ZDROJOV MALÝCH VÝKONOV

Súčasťou tejto práce je vytvorenie návrhu riadiaceho softvéru pre testovacie pracovisko s meracou sústavou tepelných zdrojov malých výkonov. Návrh je vytvorený na základe projektovej spolupráce s Energetickým ústavom na FSI VUT v Brne. Návrh systému zahŕňa monitorovanie a riadenie veličín spaľovacieho procesu. Riešenie vyžaduje komplexný riadiaci systém, ktorý je určený pre testovanie spaľovacích zariadení podľa zákona o ochrane ovzdušia č. 201/2012 Sb. a podľa platnej normy pre merané spaľovacie zariadenie z Tab. 1. V norme sú zahrnuté národné požiadavky na tieto zariadenia a taktiež skúšobné metódy merania.

5.1 Monitorovanie veličín podľa legislatívnych požiadaviek

Podľa legislatívy je nutné dodržať okrem konštrukčného hľadiska spaľovacieho zariadenia aj hodnoty emisií oxidu uhoľnatého, účinnosť pri menovitom výkone, zníženom výkone tepelného zdroja a potrebný ťah v komíne. [1]

Pre splnenie emisných limitov je nutné monitorovanie množstva emisií v spalínach. Na zistenie množstva emisií v spalínach sa pomocou analyzátorov plynov počas testovacej skúšky monitorujú ich hodnoty v spalínach. Dôležitým faktorom ovplyvňujúcim hodnoty emisií v ovzduší je zloženie a množstvo paliva. Vstupnými parametrami pre riadiaci systém je výhrevnosť, respektíve spalné teplo paliva. Pre výpočet týchto parametrov je nutné monitorovať vlhkosť paliva. Výhrevnosť paliva je ovplyvnená taktiež jeho zložením, ktoré musí byť pred použitím paliva analyzované.

Na určenie účinnosti spaľovacieho zariadenia je potrebné vypočítať nepriamou metódou straty. V procese spaľovania vznikajú straty tepla v spalínach, straty plynným nedopálením a straty mechanickým nedopálením. Straty tepla v spalínach (komínová strata) najviac negatívne ovplyvňujú celkovú účinnosť zariadenia, a preto je nutné ich monitorovať a minimalizovať. Na základe teploty spalín je možné určiť reálne množstvo spalín. Teplotu spalín je potrebné monitorovať aj z bezpečnostného hľadiska. Vysoká teplota spalín môže poškodiť spalínový ventilátor, ktorý je potrebný pre udržanie dostatočného podtlaku v dymovode. Podtlak, otáčky spalínového ventilátoru prípadne poloha dymovej klapky patria k ďalším veličinám, ktoré je nutné monitorovať.

Ďalším vstupným parametrom spaľovacieho procesu je tepelný príkon, ktorý vychádza z hmotnosti dávky vstupného paliva a jeho výhrevnosti. Celkový výkon P_c je dopočítaný podľa vzťahu (5.1), kde η [%] je účinnosť, Q_p [kJ/kg] je výhrevnosť paliva a m_p [kg] je hmotnosť vloženého paliva. Po pripojení vodnej sústavy k spaľovaciemu zariadeniu je časť celkového výkonu spaľovacieho zariadenia predávaná vode (P_v). Výkon P_v je vypočítaný pomocou vzťahu (5.2), kde c_p [kJ/kg·K] je merná kapacita vody, M_v [m³/h] je prietok vody zabezpečený čerpadlom a monitorovaný prietokomerom, t_{vo} [°C] je teplota výstupnej vody zo spaľovacieho zariadenia a t_{vi} [°C] je teplota vstupnej

vody do zariadenia. Ďalšia časť celkového tepelného výkonu uniká do okolia (P_o), a tá je vypočítaná podľa vzťahu (5.3). Ďalšími informačnými monitorovanými teplotami sú teploty povrchov spaľovacieho zariadenia a teplota vody za zmiešavacím trojcestným ventilom (t_{mix}). Trojcestný ventil je ovládaný pohonom, ktorého spätná väzba polohy je ďalšia informatívna veličina.

$$P_c = \frac{\eta \cdot Q_p \cdot m_p}{3600} [\text{kW}] \quad (5.1)$$

$$P_v = \frac{c_p \cdot M_v \cdot (t_{vo} - t_{vi})}{3600} [\text{kW}] \quad (5.2)$$

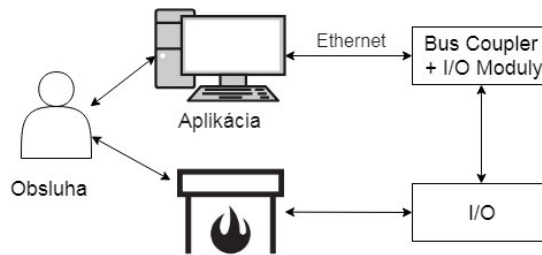
$$P_o = P_c - P_v [\text{kW}] \quad (5.3)$$

Výpočet výkonov je možný vďaka monitorovaniu veličín vystupujúcich v uvedených vzťahoch (5.1-3). Na testovací systém pôsobí vždy okolie, preto je potrebné mať informácie aj o veličinách okolia. Niektoré veličiny priamo ovplyvňujú spaľovací proces, iné sú použité na kompenzáciu snímačov. Medzi najdôležitejšie parametre patrí teplota okolia, atmosférický tlak, relatívna vlhkosť, rosný bod prípadne rýchlosť prúdenia vzduchu v okolí.

5.2 Návrh riadiaceho systému

Navrhnutý riadiaci systém pre testovacie zariadenie tepelných zdrojov musí zohľadňovať požiadavky zákazníka. V ideálnom prípade pracuje obsluha len na počítači, na ktorom beží aplikácia. Kvôli obmedzeniam však tento ideálny prípad nenastane a vždy je potrebná interakcia obsluhy so spaľovacím zariadením, napríklad v prípade dodávky paliva.

Spaľovacie zariadenie je fyzicky pripojené k meracej sústave testovacieho pracoviska, kde sa nachádza vodný okruh s teplovodným výmenníkom a dymovod na odvod spalín. K spaľovaciemu zariadeniu sú pripojené snímače, ktoré sú zapojené v elektrickom rozvážači do bus couplera, ktorý obsahuje I/O moduly. Pre aplikáciu sú potrebné moduly analógových vstupov (AI), analógových výstupov (AO) a digitálnych výstupov (DO). Bus coupler komunikuje s počítačom po Ethernete. Na počítači beží riadiaca aplikácia, pomocou ktorej je užívateľ schopný monitorovať vstupné veličiny a riadiť spaľovací proces prostredníctvom výstupov. Okrem bus couplera je potrebné zaistiť riadiace jednotky servopohonov ovládajúce klapky a ventily, frekvenčný menič pre spalínový ventilátor, čerpadlá a bezpečnostné zariadenia na svetelnú a zvukovú signalizáciu. Schematický návrh systému je zobrazený na Obr. 31.



Obr. 31) Schéma návrhu prepojenia systému

Riadiaci systém je navrhnutý na priebeh testovacej skúšky spaľovacieho zariadenia, ktorá prebieha v nasledujúcich bodoch:

1. Spustenie systému
2. Zapálenie a rozhorenie paliva spaľovacieho zariadenia
3. Spustenie záznamu testovacej skúšky
4. Prevádzka v manuálnom alebo automatickom režime
5. Ukončenie záznamu testovacej skúšky
6. Vyhasnutie spaľovacieho zariadenia
7. Zastavenie systému

Vo fáze spustenia systému sa po naviazaní komunikácie inicializujú všetky zariadenia, načítajú sa nastavenia systému a spustí sa monitorovanie veličín. Ďalšou fázou je prisun paliva, jeho zapálenie a čakanie na jeho rozhorenie. Po dosiahnutí potrebných hodnôt, je možné spustenie záznamu testovacej skúšky spaľovacieho zariadenia. Riadiaci systém pracuje v manuálnom alebo automatickom režime. Po ukončení záznamu testovacej skúšky sa čaká na vyhasnutie zdroja tepla a nasleduje zastavenie systému. Počas všetkých fáz testovania sú monitorované všetky veličiny a kontrolované ich stavy vzhľadom na ich limitné hodnoty, ktoré sú nastavené užívateľom.

5.3 Automatizácia a bezpečnosť riadiaceho systému

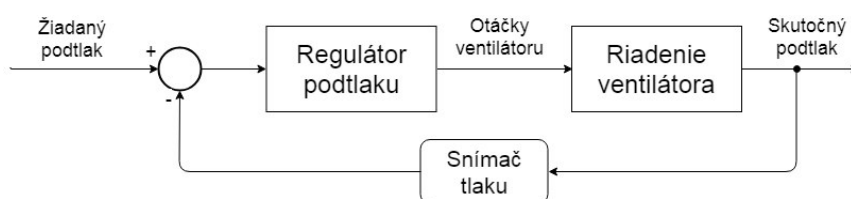
Na umožnenie práce monitorovacieho systému je potrebné použitie automatizačných prostriedkov ako sú bezpečnostné prvky (napr. svetelná, zvuková signalizácia) a regulátory. Regulátor slúži na automatické udržiavanie meranej hodnoty s čo najmenšou odchýlkou. Najjednoduchším regulátorom v praxi je PID regulátor, ktorého univerzálna forma je použitá aj v návrhu tejto aplikácie.

Navrhnutý systém musí detegovať nebezpečný stav, ktorý môže počas dlhého trvania poškodiť zariadenie a vrátiť ho do bezpečnej prevádzky. Z hľadiska bezpečnosti je nutné monitorovať teploty systému, predovšetkým teplotu spalín a teploty vodného okruhu. Ako bezpečnostný prvok je potrebná signalizácia nebezpečných stavov formou varovania, či už svetelnou, zvukovou signalizáciou alebo upozornením prostredníctvom aplikácie. Ďalším krokom je uvedenie systému do bezpečného stavu. Okrem manuálneho režimu je navrhnutý automatický režim regulácie veličín systému. Počas testovacej

skúšky prebieha záznam všetkých monitorovaných veličín do súboru, ktoré si určí užívateľ. Perióda zápisu do súboru môže byť odlišná od periódy záznamu merania.

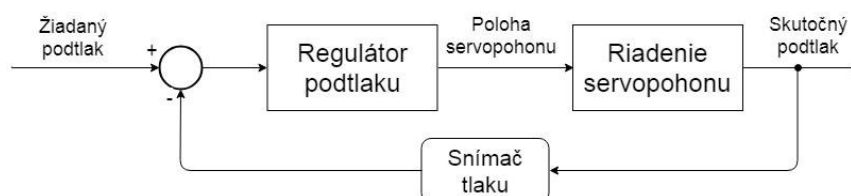
5.3.1 Riadenie podtlaku pri odvode spalín

Pre dostatočný odvod spalín je v komíne potrebný podtlak. Vplyvom atmosférického tlaku okolia, prúdenia vzduchu ale hlavne vplyvom zmeny teploty spalín sa podtlak v dymovode mení. Pre zachovanie konštantného podtlaku je vhodné použitie regulátoru. Pre túto aplikáciu je zvolený PI regulátor. Žiadanou veličinou je podtlak v komíne, ktorý je regulovaný. Akčným členom môže byť spalínový ventilátor riadený pomocou frekvenčného meniča. Frekvenčný menič slúži na nastavenie potrebných otáčok ventilátora, ktorý vytvára podtlak (Obr. 32).



Obr. 32) Schéma regulácie podtlaku otáčkami ventilátoru

Okrem ventilátora s konštantnými otáčkami môže komínová klapka reprezentovať akčný člen, ktorej poloha je riadená pohonom. V aplikácii je volený variant riadenia klapky servopohonom (Obr. 33). Samotné riadenie polohy servopohonu je riešené decentralizovane riadiacou jednotkou, ktorá kaskádovou reguláciou reguluje polohu servopohonu. Informačne je zachytávaná spätná väzba polohy servopohonu pomocou integrovaného senzoru.



Obr. 33) Schéma regulácie podtlaku komínovou klapkou

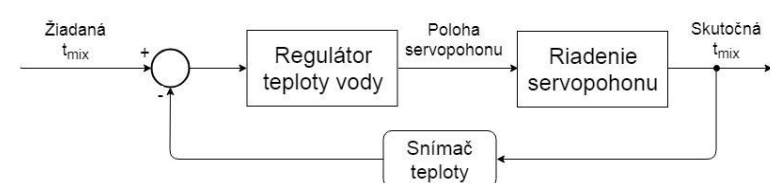
Podtlak v komíne závisí od prúdenia vzduchu vo vonkajšom prostredí. Táto dynamická veličina sa nedá predpovedať a riadenie servopohonu je kmitavá sústava. Z tohto dôvodu je súčasťou regulátoru podtlaku filter, ktorý funguje na princípe priemerovania zmien tlaku. Vďaka filteru sa odstráni kmitanie tlaku a zlepší sa tak regulácia požadovanej veličiny. Parametre regulátorov sú určené experimentálne odhadom P zložky regulátoru. Parametre I zložky sú následne dopočítané a overené na systéme. Po konfigurácii filtra a regulátoru sú všetky parametre doladené na dostatočnú požadovanú reguláciu.

Nebezpečné stavy systému môžu nastať pri uzavretí odvodu spalín počas testovacej skúšky, prípadne ak klapka nedosiahne požadovanú polohu alebo určenú hodnotu podtlaku v rámci automatického režimu. Nevhodný stav je v prípade poklesu

podtlaku pod minimálnu hodnotu. Tieto stavy musia vyvolať varovanie pre obsluhu. V prípade stavu zariadenia mimo prevádzky je vhodné po zastavení systému zatvoriť klapku dymovodu.

5.3.2 Riadenie teploty vody vodného okruhu

Teplota vody priamo súvisí s výkonom spaľovacieho zariadenia. Spaľovacie zariadenie ohrieva vodu a rozvádza ju do miestností. V prípade uzavretého okruhu by sa teplota vody neustále zvyšovala, dosiahla by teplotu varu a prešla do plynnej fázy vody – pary. Tento stav by mohol poškodiť časť systému a z toho dôvodu je nutné udržiavať bezpečnú teplotu vody v okruhu prostredníctvom zmiešavania so studenou vodou. Pre udržiavanie určitej požadovanej teploty vody v okruhu je použitý PI regulátor (Obr. 34). Teplota výstupnej vody zo spaľovacieho zariadenia (t_{vo}), je regulovaná spolu s teplotou vody za trojcestným zmiešavacím ventilom (t_{mix}). Táto teplota je blízka teplote vstupnej vody do spaľovacieho zariadenia (t_{vi}), ale kvôli stratám tepla v potrubí je efektívnejšie regulovať vzhľadom na teplotu t_{mix} . Akčným členom je trojcestný ventil, ktorého poloha je ovládaná pomocou servopohonu. Poloha servomotoru je tak isto ako u regulácie podtlaku regulovaná pomocou riadiacej jednotky a jej aktuálna hodnota je kontrolná veličina v systéme. Parametre PI regulátoru sú nastavené experimentálnou metódou kvôli veľkému dopravnému oneskoreniu. V prvej fáze je odhadnutá P zložka regulátoru a aplikovaná na systém. Po analýze P regulátoru je pomocou výpočtového modelu Ziegler-Nicholsovej metódy dopočítaný parameter I. Celkový PI regulátor je potom nasadený, otestovaný a doladený na dostatočné požiadavky regulácie.



Obr. 34) Schéma regulácie teploty vody trojcestným ventilom

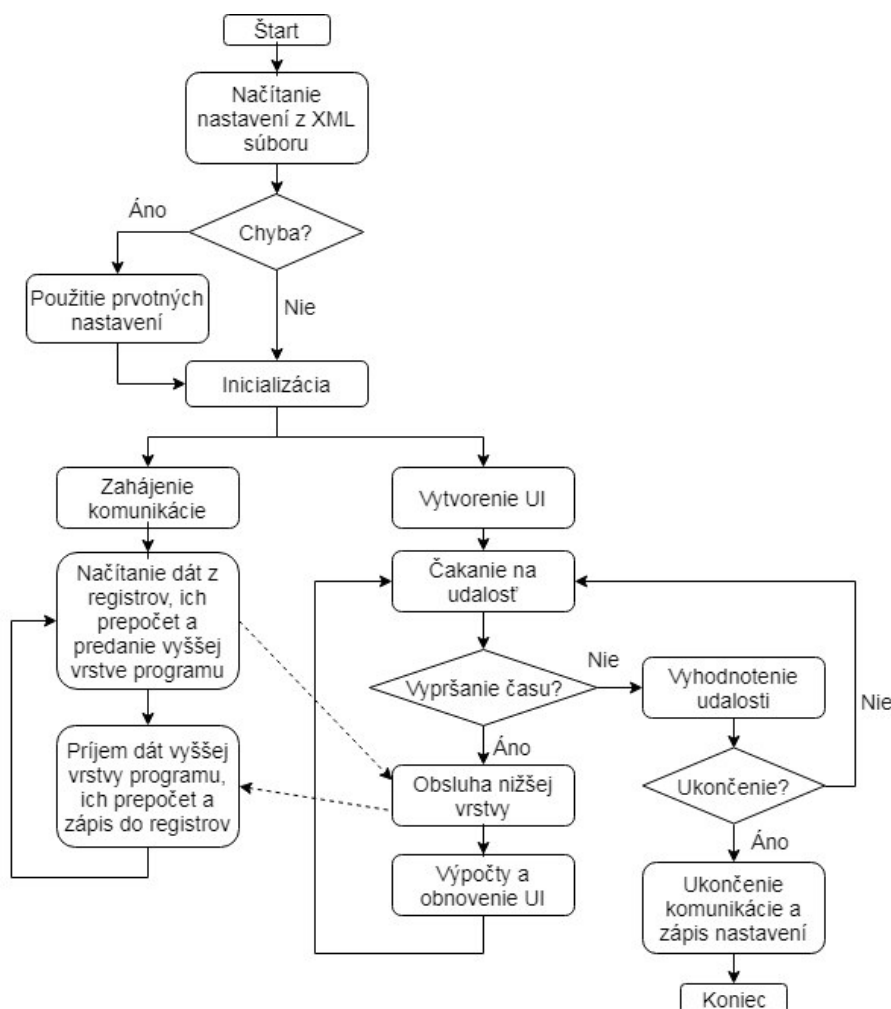
V prípade zvýšenia teploty vody nad maximálny limit v určitom úseku vodného okruhu je potrebné vyriešiť okamžité ochladenie vody. Riešením je automatické zapnutie čerpadiel (ak sú vypnuté) a plné otvorenie trojcestného zmiešavacieho ventilu, aby nastalo miešanie teplej vody so studenou. Ak je testovacie pracovisko vybavené chladiacim zariadením na odvod tepla, je potrebné spustenie tohto prvku v nebezpečnom stave.

5.4 Návrh riadiaceho softvéru a užívateľského rozhrania

Riadenie testovacieho pracoviska pre spaľovacie zariadenia je naprogramované pomocou vývojového prostredia NI LabVIEW 2017 od spoločnosti National Instruments. [12]

Hlavná časť štruktúry navrhnutej aplikácie pozostáva z dvoch paralelných cyklov operácií. Prvý cyklus slúži na komunikáciu s hardvérovou časťou systému, na zber a na

prepočet dát. Tento cyklus je súčasťou prvej vetvy vývojového diagramu (Obr. 35). Druhý cyklus slúži na spracovanie nameraných dát, ich záznam do súboru a obsluhu užívateľského rozhrania. Druhý cyklus je zobrazený ako druhá vetva vývojového diagramu aplikácie. Výhodou realizácie dvoch cyklov je možnosť voľby rôznej periódy pre jednotlivý cyklus a logicky paralelný chod aplikácie.



Obr. 35) Vývojový diagram programu

Užívateľské rozhranie aplikácie slúži na výpis aktuálnych hodnôt meraných veličín, ich zobrazenie v grafe a umožňuje ich záznam do súboru. Pomocou užívateľského rozhrania je možné ovládať výstupy systému pomocou manuálneho alebo automatického režimu. Automatický režim reguluje vybrané veličiny pomocou PI regulátorov. V rámci cyklu prebieha vyhodnocovanie udalostí. Periodicky prebieha hlavná obsluha programu, ostatné udalosti súvisia s vyvolaním udalostí zmenami prvkov užívateľského rozhrania. Jednou z udalostí je aj ukončenie programu, po ktorom sa ukončí komunikácia s hardvérovou časťou a zapíše sa aktuálna konfigurácia do súboru.

V aplikácii je prístupná konfigurácia viacerých parametrov ako sú limity veličín, formát zobrazovania, vzorkovacie periódy a podobne. Aktuálna konfigurácia aplikácie sa vždy po ukončení zapíše do xml súboru a po novom spustení aplikácie sa tieto nastavenia opätovne načítajú.

6 REALIZÁCIA MONITOROVACIEHO SYSTÉMU TEPELNÉHO ZDROJA

Prvou časťou praktickej práce je realizácia návrhu riadiaceho softvéru pre skúšobnú miestnosť na testovanie krbov v spoločnosti BeF Home s.r.o. Kotvrdovice, kde bol realizovaný projekt návrhu pracoviska meracej súpravy tepelných zdrojov malých výkonov. Toto pracovisko pozostáva z troch kútov na testovanie parametrov krbových vložiek, ktoré spoločnosť vyrába.

Druhá časť praktickej práce rieši realizáciu návrhu riadiaceho softvéru meracej súpravy zdrojov tepla malých výkonov, ktorá sa nachádza v priestoroch Energetického ústavu na Fakulte strojného inžinierstva VUT v Brne. Toto meracie pracovisko je určené k výukovým účelom, k zlepšeniu a uľahčeniu testovania tepelných zdrojov.

6.1 Testovacie pracovisko BeF Home s.r.o.

Spoločnosť BeF Home s.r.o. sa zaoberá výrobou krbových vložiek a kachlí. Pri uvedení spaľovacieho zariadenia na trh musí prejsť toto zariadenie certifikáciou. Na to je potrebné splniť stanovené legislatívne požiadavky pre výrobcov spaľovacích zariadení. Na základe spolupráce spoločnosti BeF Home a Energetického ústavu FSI VUT v Brne na projekte s názvom „Měřící souprava tepelných spotřebičů malých výkonů“ bolo na pôde spoločnosti realizované testovacie pracovisko s vodným okruhom. Táto práca má za úlohu zautomatizovať toto meracie pracovisko a zefektívniť tak testovanie parametrov tepelných zdrojov.

Na základe požiadaviek zadávateľa projektu bol vytvorený návrh riadenia monitorovacieho systému testovacieho pracoviska tepelných zdrojov malých výkonov. Meracie pracovisko umožňuje testovanie spaľovacích zariadení na troch testovacích stanoviskách (kútoch). Testovanie môže prebiehať paralelne s podmienkou, že počas testovacej skúšky je možné pripojiť práve jedno spaľovacie zariadenie k vodnému okruhu. Na Obr. 36 je pripojený krb na meracom stanovisku č. 3 k vodnému okruhu, ktorý bol predmetom vyššie uvedeného projektu. Naľavo od vodného okruhu je možné vidieť elektrický rozvádzač, ktorého vnútorný detail je na Obr. 37. Návrh a realizácia elektrického rozvádzača bol súčasťou zákazky externej certifikovanej firmy.

Riadenie meracej sústavy je realizované podľa návrhu z kap. 5 s čiastočnými zmenami podľa požiadaviek zákazníka. Monitorovanie a analýza emisií je riešená pomocou externého analyzátoru spalín. Hodnota účinnosti je následne dopočítaná vo vlastnej réžii a ďalej vstupuje ako parameter do aplikácie. Mimo réžiu softvéru patrí aj analýza zloženia (výhrevnosť) paliva a zistenie hmotnosti dávky paliva. Tieto veličiny sú taktiež vstupnými parametrami v aplikácii. Spínač spalínového ventilátora nie je prepojený s riadiacou aplikáciou, ale je potrebné manuálne zapnutie odťahu spalín. Ostatné prvky realizácie korešpondujú s návrhom popísaným v kap. 5.



Obr. 36) Testovacie pracovisko spoločnosti BeF Home

6.1.1 Hardvérové vybavenie pracoviska

Testovacie pracovisko je vybavené niekoľkými snímačmi na monitorovanie potrebných veličín. Prehľad monitorovaných veličín počas testovacej skúšky a ich odpovedajúce použité snímače sú zhrnuté v Tab. 5.

Tab. 5: Použité zariadenia na monitorovanie veličín systému

Monitorovaná veličina	Typ zariadenia	Počet zariad.
Podtlak v komíne	Snímač tlaku - BD Sensor DPS 300	3 ks
Monitorovanie teploty spalín	Snímač teploty - Pt1000	3 ks
Teplota vody	Snímač teploty - Pt1000	3 ks
Teplota povrchov	Snímač teploty - Termočlánok K	8 ks
Prietok vody	Snímač prietoku - FLOMAG 3000	1 ks

Okrem monitorovaných veličín je testovacie pracovisko vybavené zariadeniami, ktoré sú potrebné pre riadenie spaľovacieho procesu a taktiež bezpečnosť celého systému. Uvedené veličiny a použité zariadenia sú zobrazené v Tab. 6.

Tab. 6: Použité zariadenia na riadenie veličín systému a jeho bezpečnosť

Riadená veličina	Typ zariadenia	Počet zariad.
Podtlak v komíne (klapka)	Servopohon - Belimo LCM24A-SR	3 ks
Teplota vody (trojcestný ventil)	Servopohon - Belimo LRQ24A-SR	1 ks
Prietok vody	Čerpadlo - Grundfos Alpha2 25-60	2 ks
Odvod tepla	Sahara - Kalormax KA 45-B1	1 ks
Výstraha	LED signalizačný maják LD6A - 3 x LED (zelená, oranžová, červená) 2 x zvuková signalizácia	1 ks

Použité monitorovacie a riadiace zariadenia musia komunikovať s aplikáciou bežiacou na počítači. Pre prenos dát z týchto zariadení do PC a opačne sa v automatizácii používajú komunikačné zbernicové zariadenia nazývané bus couplery. Tieto zariadenia sa používajú ako sieťové prvky na prechod medzi zbernicami rôznych vrstiev. Podľa požiadaviek zákazníka bol do elektrického rozvádzača zvolený bus coupler VIPA I/O systém SLIO s modulom rozhrania Modbus/TCP. Konkrétne sa jedná o jeden väzbový člen VIPA 053-1MT00 s potrebnými modulmi pre vstupy a výstupy uvedené v Tab. 7. Komunikácia s PC prebieha prostredníctvom rozhrania Ethernet s maximálnou prenosovou rýchlosťou 100 Mb/s. [13]

Tab. 7: Použité moduly pre s väzbovým členom VIPA 053-1MT100 [13]

Názov modulu	Typ	Parametre	Počet modulov
031-1CD30	4xAI	0-10 V/16 bit	1 ks
031-1CD40	4xAI	0-20 mA/16 bit	1 ks
031-1BB90	2xAI	±80 mV/16 bit	4 ks
031-1BD80	2xAI	0-3000 Ω/16 bit	3 ks
032-1CD30	4xAO	0-10 V/16 bit	1 ks
022-1BF00	8xDO	24 V/0,5 A	1 ks

Modul 031-1CD30 prenáša signály aktuálnej polohy štyroch servopohonov Belimo ovládajúcich trojcestný ventil a tri spalínové klapky. K modulu 031-1CD40 sú pripojené 3 snímače DPS 300 na monitorovanie podtlaku v komíne a prietokomer FLOMAG 3000 na monitorovanie prietoku vody za trojcestným ventilom. K modulu 031-1BB90 je pripojených 8 termočlánkov typu K na meranie teplôt povrchov. K modulu 031-1BD80 je pripojených 6 snímačov teploty Pt1000. Tri snímače Pt1000 sú použité na monitorovanie teplôt spalín v komíne a zvyšné tri na teploty vody. Modul 032-1CD30 slúži na riadenie všetkých štyroch servopohonov Belimo. Pomocou posledného modulu prebieha spínanie dvoch čerpadiel Grundfos, sahary Kalormax a výstupov semaforu so sirénou. Realizované pripojenie bus couplera VIPA v elektrickom rozvádzači je zobrazené na Obr. 37 vpravo hore. V rozvádzači sa nachádzajú potrebné istiacie elektrické

prvky (ističe, hlavný vypínač,...), riadiaca jednotka servopohonov Belimo, bezpečnostné relé od firmy SICK a ostatné prvky ako chladiaci ventilátor na dverách rozvádzača, svorkovnica, prídavný elektrický obvod na osvetlenie a zásuvku v hornej časti.



Obr. 37) Vnútro elektrického rozvádzača

Testovacie pracovisko je vybavené taktiež odťahovým ventilátorom, ktorý sa nachádza v časti komína. Použitý je ventilátor Gemi Elettronica M/43, ktorý sa manuálne spúšťa mimo režiu aplikácie. Dôležitými veličinami pre monitorovanie spaľovacieho procesu sú aj niektoré parametre okolia. Pre meranie týchto parametrov je na základe požiadaviek zvolené kompaktné prevedenie snímača Web Sensor T7510 od firmy COMET System (Obr. 38). Web Sensor T7510 umožňuje merať teplotu, relatívnu vlhkosť, tlak a taktiež dokáže počítať veličinu rosného bodu.



Obr. 38) Comet Web Sensor T7510 [14]

Snímač je použitý na meranie teploty okolia. Prevádzková teplota snímača a taktiež aj jeho rozsah merania je v intervale od -30 do +80 °C s presnosťou $\pm 0,6$ °C s rozlíšením 0,1 °C. Prevádzková vlhkosť snímača s elektronikou a rozsah jeho merania je v intervale od 0 do 100% RH (Relative Humidity – relatívna vlhkosť) bez kondenzácie s rozlíšením 0,1% RH. Presnosť merania je v rozsahu 5 až 95% RH pri teplotách 23 °C až 73,4 °C teplotne kompenzovaná na hodnotu $\pm 2,5\%$ RH. Meranie tlaku prebieha v rozsahu 600 až 1100 hPa s presnosťou $\pm 1,3$ hPa pre teplotu 23°C a $\pm 1,5$ hPa pre teploty od 0 do 40 °C. Web Sensor T7510 dokáže dopočítať niekoľko ďalších veličín a pre aplikáciu je použitá hodnota teploty rosného bodu v rozsahu -60 až +80 °C s presnosťou $\pm 1,5$ °C pri okolitej teplote menšej ako 25 °C a RH väčšej ako 30%. Snímač Comet Web Sensor T7510 komunikuje s počítačom a bežiacou aplikáciou prostredníctvom rozhrania Ethernet s protokolom Modbus/TCP. Konfigurácia tohto zariadenia je možná aj na webovom serveri alebo pomocou konfiguračného softvéru. [14]

6.1.2 Realizovaný softvér

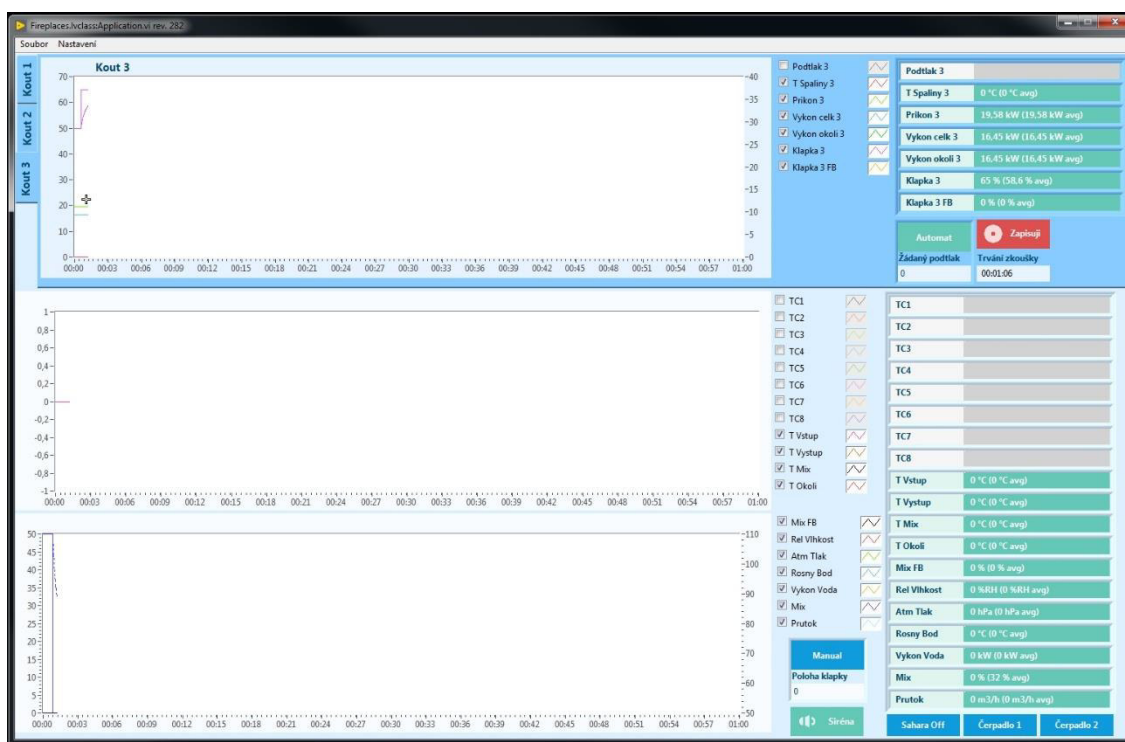
Aplikácia je realizovaná podľa požiadaviek zadávateľa projektu a podľa návrhu popísaného v kap. 5.4. Hlavná štruktúra aplikácie pozostáva z dvoch komunikačných cyklov. Prvý cyklus s periódou 100 ms komunikuje so zariadením VIPA a druhý s periódou 1000 ms komunikuje so zariadením Comet T7510. Komunikácia obidvoch zariadení prebieha prostredníctvom protokolu Modbus/TCP po sieťovom rozhraní Ethernet. Tretí cyklus s periódou 250 ms je určený pre obsluhu užívateľského rozhrania a spracovanie dát. Po načítaní dát zo zariadení VIPA a Comet sú signály prepočítané na ich odpovedajúce hodnoty a predané vyššej triede tretieho cyklu na spracovanie.

Keďže je možné pripojenie vodného okruhu práve k jednému z troch kútov, tak štruktúra programu je rozdelená na objekty, ktoré reprezentujú jednotlivé kúty a objekty, ktoré odpovedajú vodnému okruhu. Spracovanie dát objektov sa spúšťa podľa určenej periódy cyklu. Po načítaní hodnôt sa vypočíta príkon, výkon celkový a časti predaného výkonu do vody a do okolia. Tieto hodnoty sa priradia podľa nastavenia ku kútu, ktorý je pripojený k vodnému okruhu.

Ďalšou súčasťou aplikácie sú dva PI regulátory. Prvý je určený na riadenie podtlaku v komíne (kap. 5.3.1) a druhý na riadenie teploty vody vodného okruhu (kap. 5.3.2). Automatický režim riadenia týchto veličín je volený užívateľom pomocou tlačidla užívateľského rozhrania „Automat/Manual“, ktorému náleží daný popis žiadanej veličiny. Všetky prvky Front panelu použité pri tvorbe užívateľského rozhrania (Obr. 39) sú z vytvorenej knižnice. Táto knižnica bola vytvorená z dôvodu modernejšieho pôsobenia aplikácie.

Štruktúra rozhrania pozostáva z troch grafov na ľavej strane. Aktuálne hodnoty sa v reálnom čase vykresľujú do grafov plnou čiarou, priemerné hodnoty sa vykresľujú čiarkovane. Horný graf zobrazuje veličiny zvoleného testovacieho pracoviska (kút 1 až 3). V druhom grafe sú zobrazené teploty a posledný graf znázorňuje ostatné monitorované veličiny. Vedľa grafov napravo sa nachádzajú tabuľky s názvami veličín a ich aktuálne, prípadne priemerné hodnoty. Príslušnému stavu veličiny (vypnutý,

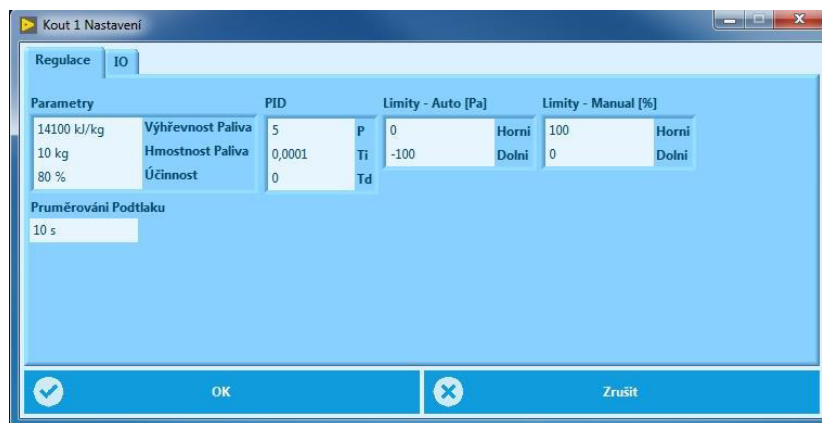
normálny, varovanie, kritický) odpovedá farba pozadia poľa. Po vypnutí zobrazenia pomocou kliknutia pravým tlačidlom na veličinu s voľbou „Zapni/Vypni“ alebo pomocou zaškrtnutia políčka sa veličina skryje (šedá) a taktiež sa skryje zobrazenie v grafe. Toto nastavenie zaisťuje prehľadnosť zobrazovaných veličín v grafe. Pod tabuľkou s veličinami sa nachádzajú tri indikátory. Tieto indikátory zobrazujú zapnutý alebo vypnutý stav sáhy a dvoch čerpadiel vodného okruhu. Vypnutý stav je znázornený modrou farbou, zapnutý zelenou. Posledným ovládacím tlačidlom užívateľského rozhrania je „Siréna“. Pomocou tohto tlačidla je možné vypnúť zvukovú signalizáciu. Zvuková signalizácia je vždy z bezpečnostného hľadiska po spustení aplikácie zapnutá. Po dosiahnutí varovného alebo kritického stavu systému môže užívateľ stlmiť silný zvuk sirény. Tlačidlo neovplyvňuje svetelnú signalizáciu.



Obr. 39) Užívateľské rozhranie realizovanej aplikácie

Dôležitou časťou aplikácie je manažér stavov, kde sa na základe nakonfigurovaných limitov sa spúšťa svetelná a zvuková signalizácia. Nastavenia všetkých parametrov prebiehajú pomocou výberu z ponuky menu aplikácie. Po výbere sa zobrazí dialógové okno nastavenia, kde potvrdenie tlačidlom „OK“ uloží zmeny a zrušenie prípadne zatvorenie okna zachová pôvodné nastavenia.

V rámci konfigurácie jednotlivých kútov je možné nastaviť pomocou dialógového okna (Obr. 40) vstupné parametre daného kútu, parametre regulátoru podtlaku, periódu filtrácie podtlaku a rozsah požadovanej hodnoty, ktorú je možné zadať do políčka pod tlačidlom „Automat/Manual“.



Obr. 40) Dialógové okno nastavenia kútu

Podobná konfigurácia slúži aj pre parametre vodného okruhu, teplôt a ostatných parametrov. V tomto dialógovom okne (Obr. 41) je možné zvoliť možnosť kútu ku ktorému je pripojený vodný okruh (kút 1 až 3 alebo žiadny), zapísať teploty výstupnej vody, ktorá spúšťa saharu a čerpadlá, nastavenie parametrov PID regulátoru teploty za trojcestným zmiešavacím ventilom a taktiež limit požadovanej hodnoty, ktorú je možné zadať do políčka pod tlačidlom „Automat/Manual“. V prípade testovania spaľovacieho zariadenia s vodným okruhom, spustí kritický stav z bezpečnostného dôvodu obidve čerpadlá, zapne saharu a otvorí trojcestný zmiešavací ventil do procesu miešania teplej vody so studenou, aby sa ochladil systém a nedošlo k jeho poškodeniu.



Obr. 41) Dialógové okno nastavenia vodného okruhu

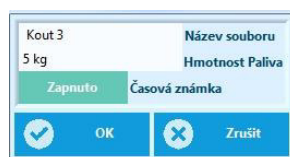
Nastavenie limitov (varovanie, alarm) a ďalších parametrov všetkých veličín jednotlivých kútov a veličín vodného okruhu je súčasťou dialógových okien (Obr. 42) prepnutím stránky. V rámci konfigurácie veličín je možné nastaviť formát, typ veličiny (vstupná, výstupná alebo počítaná), možnosť zobrazenia v grafe, farbu vykresľovania do grafu a priradenie k osi y, kde ľavá strana grafu odpovedá 0 a pravá 1. Dôležitou časťou je konfigurácia limitov veličín. Normálny (bezpečný) stav hodnoty je zobrazený zelenou farbou v tabuľke užívateľského rozhrania a zelenou svetelnou signalizáciou na semafore. Stav varovania oranžovým svetlom a prvým stupňom zvukovej signalizácie nastane po dosiahnutí maximálnej hodnoty varovania (Warn Max) alebo minimálnej hodnoty

varovania (Warn Min). Dolný limit je v užívateľskom rozhraní zobrazený svetlo modrou a horný limit oranžovou farbou. Nebezpečný (kritický) stav je sprevádzaný červeným svetlom na semafore a druhým stupňom zvukovej signalizácie. Limit pre maximálnu hodnotu (Alarm Max) je zobrazený červenou farbou a limit pre minimálnu hodnotu (Alarm Min) je zobrazený tmavo modrou farbou.



Obr. 42) Dialógové okno nastavenia vstupných a výstupných veličín

Ďalšou časťou cyklu aplikácie je záznam dát do súboru. Po stlačení tlačidla „Zapisuj“ sa zobrazí užívateľovi dialógové okno (Obr. 43) s možnosťou zadania názvu súboru, použitia časovej známky v názve a zadanie hmotnosti dávky paliva. V dialógovom okne nastavenia zápisu je možné zvoliť periódu zápisu do súboru. Zapisujú sa všetky zobrazené veličiny v čase stlačenia tlačidla „Zapisuj“. Časové trvanie skúšky je zobrazené pod týmto tlačidlom a má informatívny charakter. Počas záznamu je možné následné skrývanie a zobrazovanie hodnôt v rámci monitorovania veličín. Táto činnosť nijako neovplyvní záznam. Spolu so stlačením tlačidla sa spustí priemerovanie zobrazených hodnôt. Táto funkcionlita zisťuje tendenciu vývoja monitorovanej veličiny. Priemerná hodnota je zobrazená vedľa aktuálnej v zátvorke s označením „avg“. Po ukončení zápisu do súboru sa načítajú všetky zapísané hodnoty veličín, vypočíta sa ich priemerná hodnota, ktorá sa v spodnej časti súboru zapíše a vynuluje sa čas trvania skúšky.



Obr. 43) Dialógové okno zápisu dát do súboru

6.1.3 Overenie systému a možnosti rozšírenia

Pred uvedením systému do prevádzky boli simulované všetky výpočty veličín. Testom aplikácie bola overená správna funkcionlita prvkov užívateľského rozhrania a zápisu dát do súboru. Simuláciou bol systém uvedený do nebezpečného stavu a následne boli analyzované opatrenia k vráteniu systému do bezpečného stavu.

Po úspešnom simulačnom overení bol realizovaný systém uvedený do prevádzky na testovacom pracovisku spoločnosti BeF Home. V rámci uvedenia zariadení do prevádzky bol systém nakonfigurovaný podľa požiadaviek zadávateľa. Konfigurácia spočívala v nastavení komunikácie medzi zariadeniami, nastavení bezpečnostných limitov, ladení regulátorov a podobne. V ďalšej fáze bol overený správny prepočet všetkých analógových veličín a správna funkcionálna digitálnych vstupov a výstupov. Monitorované hodnoty veličín boli porovnané s nameranými hodnotami externých meracích zariadení.

Ďalšou časťou bol experiment s rozhoreným spaľovacím zariadením (Obr. 44), kde bol otestovaný manuálny režim prevádzky. Po úspešnom teste bol overený aj automatický režim. Bezpečnosť systému bola skontrolovaná upravením konfigurácie limitov na sprísnené podmienky, a tým bol nasimulovaný nebezpečný stav. Všetky požiadavky na vrátenie systému do bezpečného stavu boli splnené. Realizovaný systém sa po overení považuje za vyhovujúci.

V budúcnosti pripadá do úvahy možnosť rozšírenia systému. V rámci automatizácie je vhodné prepojiť spúšťanie spalínového ventilátora s riadiacou aplikáciou, čo zvýši bezpečnosť systému. Ďalším vylepšením je pripojenie analyzátoru spalín a spresniť tak výpočet veličín.



Obr. 44) Priebeh testovacej skúšky v spoločnosti BeF Home s.r.o.

6.2 Testovacie pracovisko EÚ FSI VUT

V druhej fáze praktickej časti je realizovaný návrh riadiaceho systému testovacieho pracoviska nachádzajúceho sa v priestoroch Energetického ústavu FSI VUT v Brne. V rámci projektu „NETME Centre (Nové technológie ve strojírenství)“ prebiehal výskum a inovácia meracieho pracoviska pod názvom „Měřící souprava spotřebičů malých výkonů – Chladicí smyčka“. Automatizácia tohto pracoviska uľahčuje prácu vo výuke.

Testovacie pracovisko Energetického ústavu FSI VUT v Brne (Obr. 45) v porovnaní s pracoviskom spoločnosti BeF Home pozostáva z jedného meracieho stanoviska (kútu) a je vybavené podobným chladiacim vodným okruhom s chladiacou vežou a odvodom spalín. Riadenie testovacej sústavy je realizované podľa návrhu z kap. 5 s úpravou podľa požiadaviek. Monitorovanie a analýza emisií sú riešené prostredníctvom externého analyzátoru spalín. Účinnosť je dopočítaná a vstupuje ako parameter do aplikácie. Analýza zloženia paliva je riešená externým zariadením. Hmotnosť dávky paliva je monitorovaná váhou pod spaľovacím zariadením. V komíne sa nachádza dymová klapka riadená polohou servopohonu a spalínový ventilátor riadený otáčkami pomocou frekvenčného meniča. Podtlak v komíne je regulovaný otáčkami spalínového ventilátoru a klapka slúži na uzavretie komína v stave nečinnosti pracoviska. Spúšťanie chladiacej veže a čerpadla vodného okruhu prebieha manuálne. Navyše je z bezpečnostného hľadiska monitorovaný tlak vo vodnom okruhu. V prostredí je zaznamenávaná rýchlosť prúdenia vzduchu v okolí spaľovacieho zariadenia, ktorá taktiež ovplyvňuje testovanie.



Obr. 45) Testovacie pracovisko EÚ FSI v Brne

6.2.1 Hardvérové vybavenie pracoviska

Testovacie stanovisko je vybavené viacerými snímačmi na monitorovanie potrebných veličín spaľovacieho procesu. Prehľad monitorovaných veličín počas testovacej skúšky a ich odpovedajúce použité snímače sú uvedené v Tab. 8.

Tab. 8: Použité monitorovacie zariadenia a veličiny

Monitorovaná veličina	Typ zariadenia	Počet zariad.
Množstvo dávky paliva	Dig. váha - Mettler Toledo PFA574	1 ks
Podtlak v komíne	Snímač tlaku - BD Sensor DPS 200	1 ks
Tlak vo vodnom okruhu	Snímač tlaku - BD Sensor DMP 331	1 ks
Monitorovanie teploty spalín	Snímač teploty - Pt100	2 ks
Teplota vody	Snímač teploty - Pt100	3 ks
Teplota povrchov	Snímač teploty - Pt100	3 ks
Teplota okolia	Snímač teploty - Pt100	2 ks
Prietok vody	Snímač prietoku - FLOMAG 3000	1 ks
Rýchlosť prúdenia vzduchu	Prevodník - TESTO 0699 5100 Sonda - 0628 0035	1 ks

Riadenie a regulácia spaľovacieho procesu je riešené pomocou riadených veličín a ich akčných členov. Použité zariadenia a ich náležité riadené veličiny sú uvedené v Tab. 9. Výnimkou je čerpadlo vo vodnom okruhu, ktoré je zapínané manuálne.

Tab. 9: Použité zariadenia na riadenie veličín systému

Riadená veličina	Typ zariadenia	Počet zariad.
Podtlak v komíne (ventilátor)	Motor - Siemens 1LA9080-2KA	1 ks
Podtlak v komíne (klapka)	Servopohon - Belimo LCM24A-SR	1 ks
Teplota vody (trojcestný ventil)	Servopohon - Belimo LRQ24A-SR	1 ks
Prietok vody	Čerpadlo - Grundfos UPS 25-60	1 ks

Monitorované a riadiace veličiny sú pripojené prostredníctvom potrebných modulov ku komunikačnému zariadeniu typu CompactDAQ od spoločnosti National Instruments. Pre aplikáciu je zvolené 8-slotové šasi NI cDAQ-9188 ktoré prostredníctvom rozhrania Ethernet komunikuje s počítačom, kde beží riadiaca aplikácia. Šasi slúži podobne ako bus coupler na synchronizáciu a prenos dát medzi modulmi a externým hostom (počítačom). Toto zariadenie má veľmi dobrú kompatibilitu s vývojovým prostredím LabVIEW, v ktorom je realizovaný riadiaci softvér.

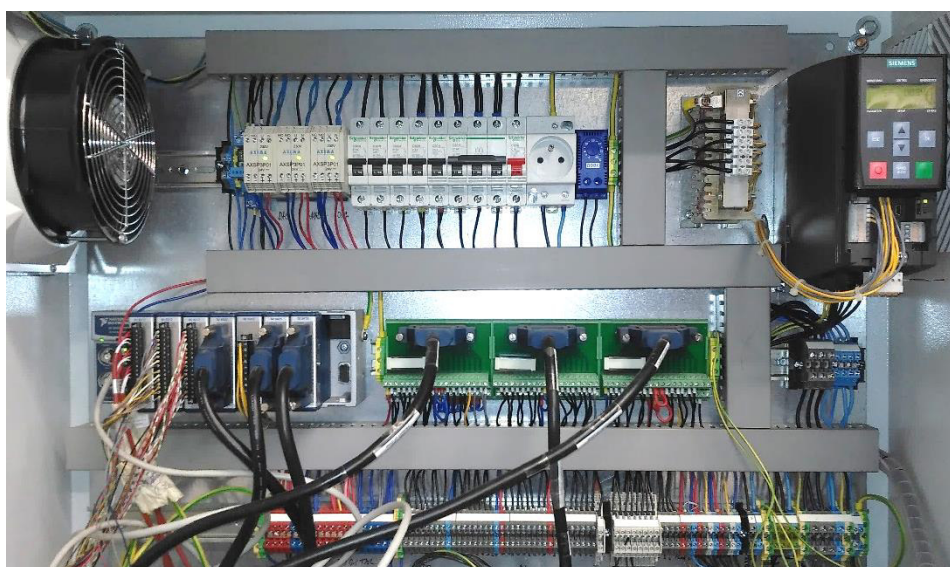
Použité moduly sú zobrazené v Tab. 10. V prvých troch slotoch cDAQ šasi sa nachádzajú moduly NI-9217 pre odporové teplomery Pt100, kde prvý modul zaznamenáva 3 teploty vodného okruhu, druhý modul dve teploty spalín a dve teploty okolia. Tretí modul zaznamenáva tri teploty povrchov. Modul NI-9207 monitoruje prietok vody (Flomag), polohy servopohonov (Belimo), otáčky spalínového ventilátoru, tlak vodného okruhu, podtlak spalín a hmotnosť paliva. Riadiacou kartou NI-9263 je riadená poloha servopohonov a otáčky ventilátoru. Karty s digitálnymi vstupmi a výstupmi pracujú ovládajú a monitorujú váhu a režim chodu spalínového ventilátoru.

Tieto kanály budú ďalej využité na bezpečnostné prvky (svetelná, zvuková signalizácia) a integráciu vstupov a výstupov analyzátoru spalín.

Tab. 10: Použité moduly so šasi NI cDAQ-9188

Názov	Parametre	Počet kanálov	Počet modulov
NI-9217	Teplotný odporový modul - Pt100 RTD	4	3 ks
NI-9207	Vstupný modul (AI) - napäťový a prúdový	16	1 ks
NI-9263	Výstupný modul (AO) - napäťový	4	1 ks
NI-9425	Vstupný modul (DI) - digitálny	32	1 ks
NI-9476	Výstupný modul (DO) - digitálny	32	1 ks

Zákazkou externej firmy bol na pracovisku realizovaný elektrický rozvádzač (Obr. 46), v ktorom sa nachádza zariadenie NI cDAQ-9188 s pripojenými modulmi z Tab. 10 a ostatné potrebné elektrické prvky (frekvenčný menič Siemens, ističe, svorkovnice, chladenie a pod.).

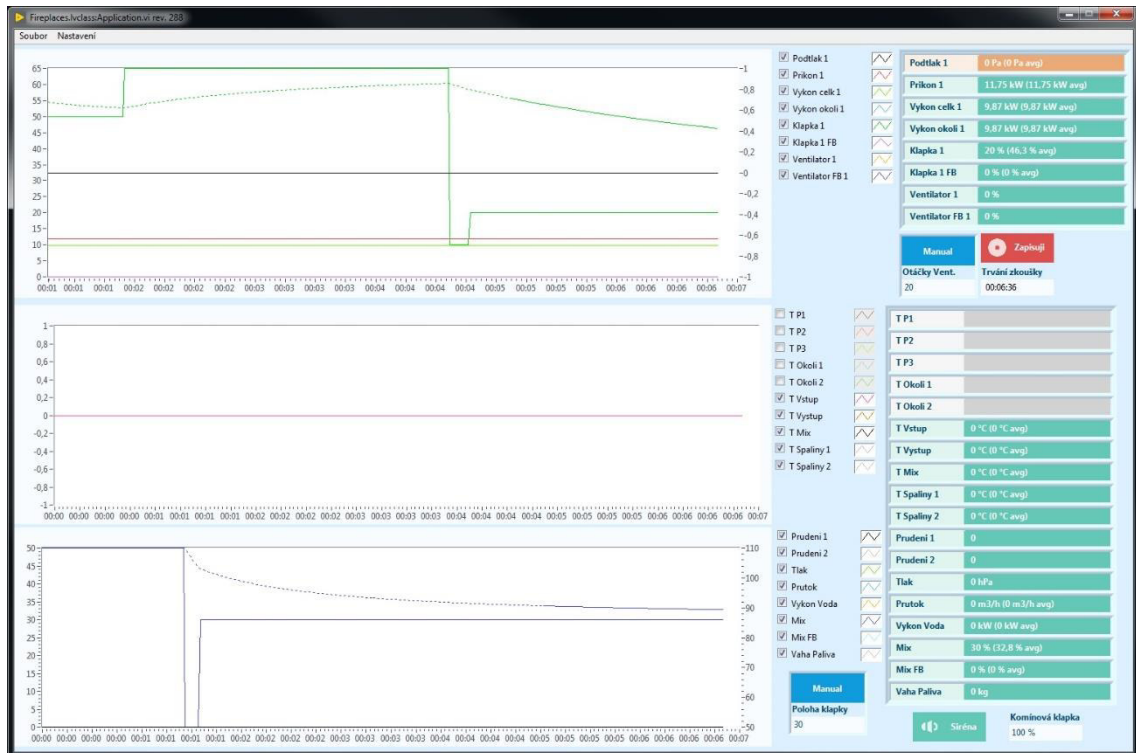


Obr. 46) Elektrický rozvádzač pracoviska EÚ

6.2.2 Realizovaný softvér

Softvérová aplikácia je realizovaná podľa návrhu z kap. 5.4 upraveného podľa požiadaviek zadávateľa projektu. Hlavná štruktúra aplikácie pozostáva z komunikačného cyklu so zariadením CompactDAQ prostredníctvom sieťového rozhrania Ethernet. Na synchronizáciu a komunikáciu je využitá knižnica zberu dát NI DAQmx. Po načítaní dát sú signály prepočítané na ich odpovedajúce hodnoty monitorovaných veličín a predané vyššej triede druhého cyklu aplikácie. Tento cyklus s periódou 250 ms je určený na obsluhu užívateľského rozhrania a spracovanie dát. Užívateľské rozhranie (Obr. 47) je tvorené podobne ako v aplikácii z kap. 6.1.2 zobrazením aktuálnych monitorovaných hodnôt v tabuľke a ich vykreslenie v grafoch. Konfigurácia všetkých

veličín je možná prostredníctvom dialógových okien z položky menu. Funkcionalita prvkov je taktiež totožná. Tabuľky s výpisom veličín sú upravené podľa pripojených vstupov a výstupov. Ďalšou zmenou aplikácie je regulácia podtlaku, kde v automatickom režime sú miesto polohy komínovej klapky regulované otáčky spalínového ventilátora. Poloha klapky dymovodu je ovládaná v spodnej časti aplikácie zadaním hodnoty v rozsahu 0-100 %.



Obr. 47) Uživatelské rozhranie realizovanej aplikácie

V rámci návrhu aplikácie sú určené digitálne výstupy na karte NI-9476 pre svetelnú a zvukovú signalizáciu, ktorá bude dodatočne nainštalovaná v prevedení semaforu. V súčasnom riešení sú tieto výstupy nepripojené, ale súčasťou aplikácie je zahrnuté riešenie tohto bezpečnostného prvku. V rámci užívateľského rozhrania je tlačidlo „Siréna“ na jej stlmenie. Ako dočasný bezpečnostný prvok slúži farebné zvýraznenie hodnôt, ktoré prekročia stanovený limit.

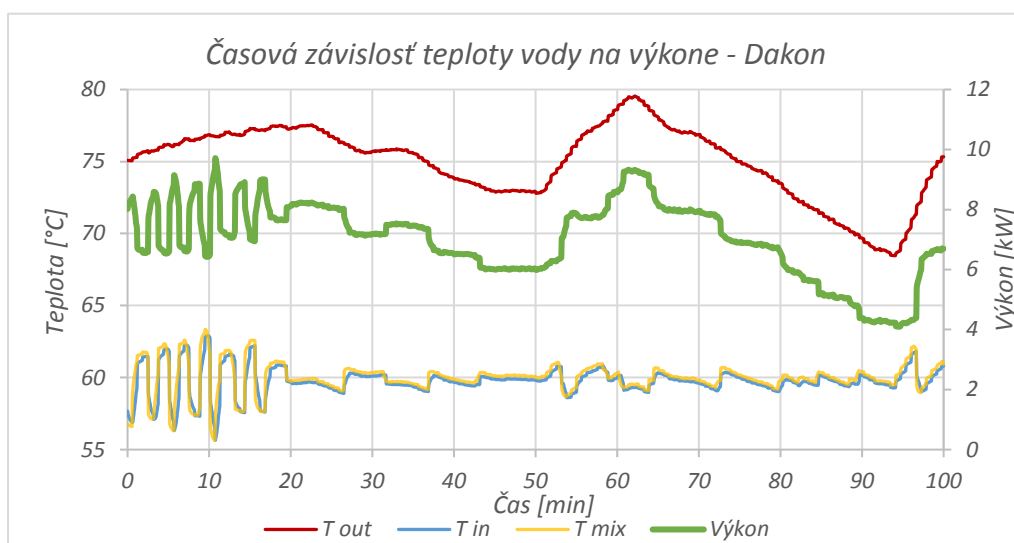
6.2.3 Overenie systému a možnosti rozšírenia

Overenie realizovaného systému prebehlo obdobne ako systém v kap. 6.1.2. Na začiatku boli pred uvedením do prevádzky simulované všetky výpočty veličín. Funkcionalita užívateľského rozhrania a zápisu dát do súboru bola otestovaná. V rámci simulácie prebehlo aj overenie bezpečnosti systému.

Po úspešnom overení simuláciou bol systém uvedený do prevádzky na testovacom pracovisku Energetického ústavu FSI VUT v Brne, kde prebehla potrebná konfigurácia systému. V ďalšej fáze bol overený prepočet všetkých veličín a správna funkcionlita vstupov a výstupov. Na overenie veličín boli taktiež použité externé meracie prístroje.

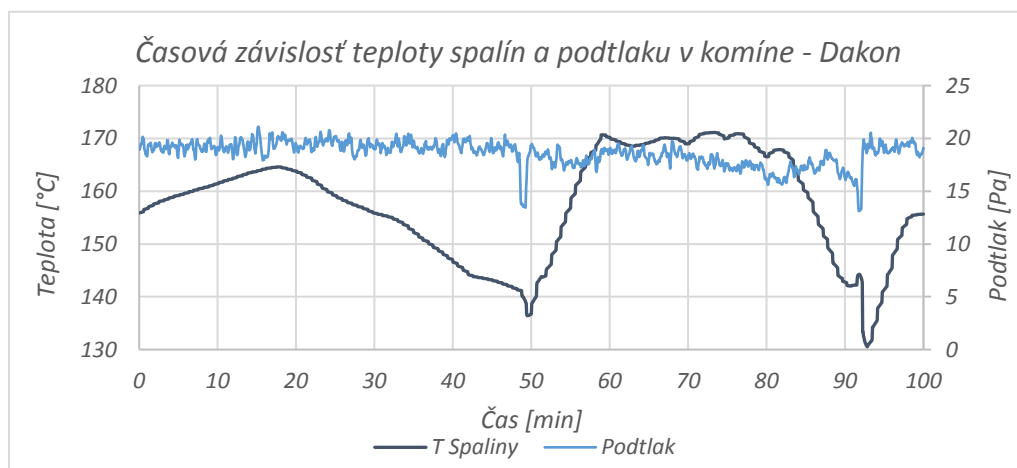
V ďalšej fáze overenia systému prebehol experiment s rozhoreným spaľovacím zariadením, kde bol testovaný manuálny a automatický režim. Bezpečnosť systému bola testovaná upravením limitov veličín na sprísnené podmienky, a tým bol simulovaný nebezpečný stav. Systém splnil všetky bezpečnostné požiadavky.

V rámci overenia funkčnosti systému bol uskutočnený viacdenný experiment kotlov malých výkonov Dakon Damat Pyro 20 G (20 kW) a Verner A251 (25 kW). Keďže skúška trvala viac hodín, tak v práci sú zobrazené časové vývoje len niektorých veličín z určitej časti experimentu. Na Obr. 48 a Obr. 49 je možné vidieť časť začiatku testu kotla Dakon po jeho rozhorení, kde vidno reakcie na dynamické zmeny systému.



Obr. 48) Graf časovej závislosti teploty vody na výkone zo záznamu testu kotla Dakon

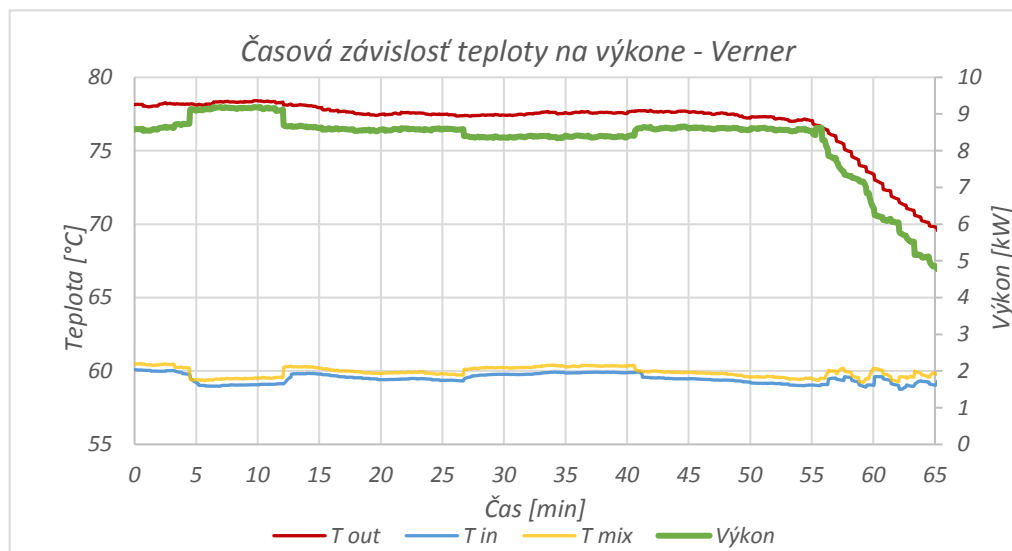
V zázname je možné vidieť do 20. minúty test regulácie teploty vody za trojcestným ventilom (T_{mix}), kde bola zámerne menená požadovaná teplota, a jej vplyv na výkon predaný vode. V ďalšej fáze do 50. minúty prebehla regulácia teploty vody (T_{mix}) na hodnotu 60 °C. V 50. minúte bolo priložené do kotla palivo, čo sa odzrkadlilo zvýšením výkonu, teploty výstupnej vody a taktiež teploty spalín a poklesom podtlaku v komíne pri otvorení dverí spaľovacej komory (Obr. 49).



Obr. 49) Graf časovej závislosti teploty spalín a podtlaku zo záznamu testu kotla Dakon

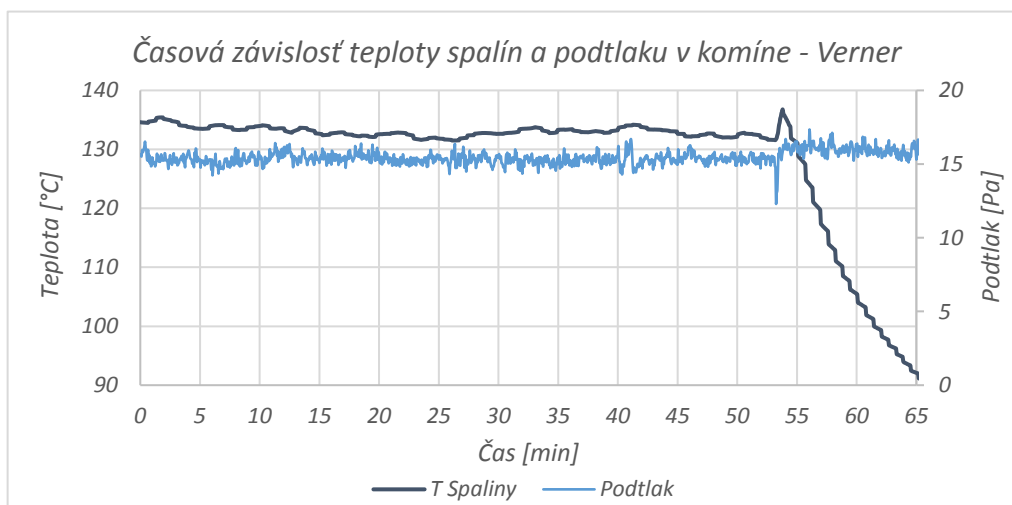
V 60. minúte testu mal kotol najväčšiu účinnosť využitia kyslíku a do 80. minúty sa v komore zvyšovala koncentrácia kyslíka, čo spôsobilo pokles výkonu pri konštantnej teplote spalín. V 80. minúte začal kotol vyhasínať, nastal pokles teploty spalín, a preto bolo v 90. minúte testu znova priložené palivo.

Druhý experiment prebiehal na kotle Verner. Z Obr. 50 je možné vidieť časovú závislosť teploty vody na výkone. Po rozohriatí kotla bolo možné regulovať teplotu vody a teda aj výkon odovzdaný vode.



Obr. 50) Graf časovej závislosti teploty vody na výkone zo záznamu testu kotla Verner

Záznam zobrazuje posledných 65 minút testu kotla. Regulácia teploty vody (T_{mix}) bola na začiatku testu nastavená na teplotu 60 °C. Teplota sa vplyvom regulácie usťahuje v rozsahu 2 °C, čo odpovedá približne $\pm 2\%$ regulačnej odchýlke. Na základe toho je možné považovať reguláciu za dostatočne kvalitnú. Po 55. minúte záznamu bol obmedzený prísun vzduchu do spaľovacej komory a kotol prešiel do fázy vyhasínania, čo je možné vidieť na zmene podtlaku v komíne, znížení, výstupnej teploty kotla a taktiež teploty spalín (Obr. 51).



Obr. 51) Graf časovej závislosti teploty spalín a podtlaku zo záznamu testu kotla Verner

Na Obr. 51 je možné vidieť časový vývoj podtlaku v komíne, kde prebiehala regulácia. Z grafu je vidieť kmitavú tendenciu podtlaku, ktorá ostala aj po použití filtrácie. Požadovaná hodnota podtlaku bola nastavená na 15 Pa a vplyvom regulácie sa ustálil s žiadanou priemernou hodnotou 15 Pa v rozsahu cca ± 1 Pa, čo odpovedá približne $\pm 13\%$ regulačnej odchýlke. Regulácia je pre aplikáciu prijateľná, no je možné ju zlepšiť dodatočnou konfiguráciou filtrácie.

Test automatického kotla Verner A251 prebiehal pri jeho zníženom výkone, čo je jedna z požiadaviek podľa normy ČSN EN 303-5:2012. Kotel Verner A251 by mal podľa tejto normy spĺňať emisnú triedu 5. Menovitý výkon kotla je 25 kW a podľa dokumentácie je možná prevádzka kotla v rozmedzí výkonu 7,5 – 28 kW s vysokou účinnosťou 92%. Pre test kotla musia byť splnené určité podmienky. Prietok vody vo vodnom okruhu odpovedal približne 400 l/h. Podľa dokumentácie kotla je predpísaný ťah komína 15 – 30 Pa, čo bolo splnené (Obr. 51). Kotel spálil počas 55. minút testu 2 kg drevených peliet s výhrevnosťou približne 17 MJ/kg, čo odpovedá príkonu cca 9,5 kW. Účinnosť kotla pri spaľovaní drevených peliet je podľa dokumentácie 91,5 %. Celkový výkon kotla odpovedá podľa vzťahu (5.1) hodnote 8,64 kW. Priemerná hodnota odovzdaného výkonu do vody za čas 55 minút testu je podľa záznamu 8,62 kW, čo dostatočne odpovedá teoretickej hodnote. Týmto testom bolo overené, že účinnosť kotla naozaj odpovedá hodnote 91,5%. Počas testu boli monitorované externým analyzátorom taktiež emisie kotla. Na základe úspešného testu je možné prehlásiť, že realizovaný systém vyhovujúci.

Systém testovacieho pracoviska Energetického ústavu je možné taktiež v budúcnosti rozšíriť. Okrem inštalácie bezpečnostného signalizačného prvku je v rámci automatizácie vhodné prepojiť spúšťanie čerpadla vodného okruhu a spúšťanie chladiacej veže s riadiacou aplikáciou, čo zvýši bezpečnosť systému. Ďalším vylepšením je prepojenie analyzátoru spalín a spresniť tak výpočet veličín.

7 ZÁVER

Táto práca bola vytvorená s cieľom oboznámenia sa s možnosťami monitorovania a riadenia veličín spaľovacieho procesu. Na základe získaných poznatkov bolo úlohou vytvoriť softvérový návrh monitorovacieho systému pre testovanie zdrojov tepla spaľujúcich drevo a drevenú štiepku podľa platných legislatívnych požiadaviek.

V prvej časti práce sú zhrnuté veličiny spaľovacieho procesu, ktoré je potrebné riadiť a monitorovať vzhľadom na legislatívne požiadavky pre testovanie zdrojov tepla. Na základe toho je vytvorený výber prostriedkov, ktorými je možné dané veličiny monitorovať a riadiť.

Na základe poznatkov je vytvorený softvérový návrh riadenia testovacej sústavy tepelných zdrojov. Monitorovací systém je schopný zbierať, spracovať a ukladať dáta. Okrem toho riadi hardvérové prostriedky sústavy a reguluje požadované veličiny, ktoré ovplyvňujú proces spaľovania. Návrh systému je realizovaný pomocou vývojového prostredia NI LabVIEW.

Prvý návrh systému je realizovaný pre testovacie pracovisko skúšobnej miestnosti spoločnosti BeF Home s.r.o., ktoré je určené na testovanie krbových vložiek a kachlí. Ako komunikačný prvok medzi PC a hardvérovým vybavením bol zvolený bus coupler VIPA SLIO s jedenástimi modulmi. K nim boli pripojené potrebné snímače a riadiace prvky. Realizovaný systém bol nakonfigurovaný podľa požiadaviek zadávateľa a následne bola overená funkčnosť celého systému.

Druhý návrh systému je realizovaný pre testovacie pracovisko Energetického ústavu FSI VUT v Brne. V tomto prípade bol ako komunikačný prvok zvolený CompactDAQ so siedmimi modulmi, ku ktorému boli pripojené zvolené monitorovacie a riadiace prvky. Po úspešnej konfigurácii a overení funkčnosti systému boli prevedené testy dvoch kotlov malých výkonov podľa aktuálne platnej normy ČSN EN 303-5:2012.

Realizované riadenie testovacieho pracoviska uľahčuje pracovníkom testovanie parametrov spaľovacích zariadení na spomínaných, šetrení palivo pri riadení procesu spaľovania jeho reguláciou a chráni tak životné prostredie.

8 ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1] *TZB-info: Vytápění* [online]. Praha: Topinfo s.r.o, c2001-2018 [cit. 2018-03-28]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/>
- [2] NOSKIEVIČ, Pavel, Jan KOLONIČNÝ a Tadeáš OCHODEK. *Malé zdroje znečišťování* [online]. Vydání první. Ostrava: VŠB - Technická univerzita v Ostravě - Výzkumné energetické centrum, 2004 [cit. 2018-03-08]. Dostupné z: <https://www.mpo-efekt.cz/dokument/4215.pdf>
- [3] *BeF Home* [online]. Kotvrdovice: BeF Home s.r.o., 2018 [cit. 2018-04-21]. Dostupné z: <http://www.krby-bef.cz/>
- [4] HOŠOVSKÝ, Alexander a Ivo BUKOVSKÝ, Ján PITEĽ, ed. Niektoré aspekty riadenia spaľovania biomasy v kotloch malých a stredných výkonov. In: DOLEŽEL, Petr. *Sborník příspěvků konference Principia Cybernetica 2015*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2015, str. 51 - 58. ISBN 978-80-7395-865-7.
- [5] ČSN EN 13229: *Vestavné spotřebiče k vytápění a krbové vložky na pevná paliva - Požadavky a zkušební metody*. Praha: ÚNMZ, 2002.
- [6] ČSN EN 13240: *Spotřebiče na pevná paliva k vytápění obytných prostorů - Požadavky a zkušební metody*. Praha: ÚNMZ, 2002.
- [7] ČSN EN 303-5: *Kotle pro ústřední vytápění - Část 5: Kotle pro ústřední vytápění na pevná paliva, s ruční a samočinnou dodávkou, o jmenovitém tepelném výkonu nejvýše 500 kW - Terminologie, požadavky, zkoušení a značení*. Praha: ÚNMZ, 2012.
- [8] FRADEN, Jacob. *Handbook of Modern Sensors*. Third Edition. New York, NY: Springer New York, 2004. DOI: 10.1007/b97321. ISBN 0387007504.
- [9] Měření hladiny [online]. Jičín: JSP, s.r.o., 2018 [cit. 2018-02-02]. Dostupné z: http://www.jsp.cz/cz/sortiment/seznam_dle_kategorii/snimace_hladiny/teorie-hladina/
- [10] HRUŠKA, František. *Technické prostředky integrované automatizace*. Druhé vydání. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2017. ISBN 978-80-7454-700-3.
- [11] BALÁŠ, Marek a Jiří MOSKALÍK. Měření vlhkosti paliv: Sborník příspěvků ze semináře. In: *Energie z biomasy X*. Brno: VUT v Brně, FSI, b.r. ISBN 978-80-214-4027-2.
- [12] National Instruments [online]. National Instruments, 2018 [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <http://www.ni.com>

- [13] VIPA System SLIO: IM 053-1MT00 Manual [online]. Herzogenaurach, Germany: VIPA GmbH, 2014 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <https://vipausa.com/content/manuals/slio/VIPA%20053-1MT00%20Manual.pdf>
- [14] Web Sensor - snímač teploty, vlhkosti a barometrického tlaku s výstupem Ethernet: Kód: T7510. *COMET měřicí přístroje* [online]. Rožnov pod Radhoštěm: COMET SYSTEM, s.r.o., 2018 [cit. 2018-04-17]. Dostupné z: <https://www.cometsystem.cz/produkty/reg-T7510>